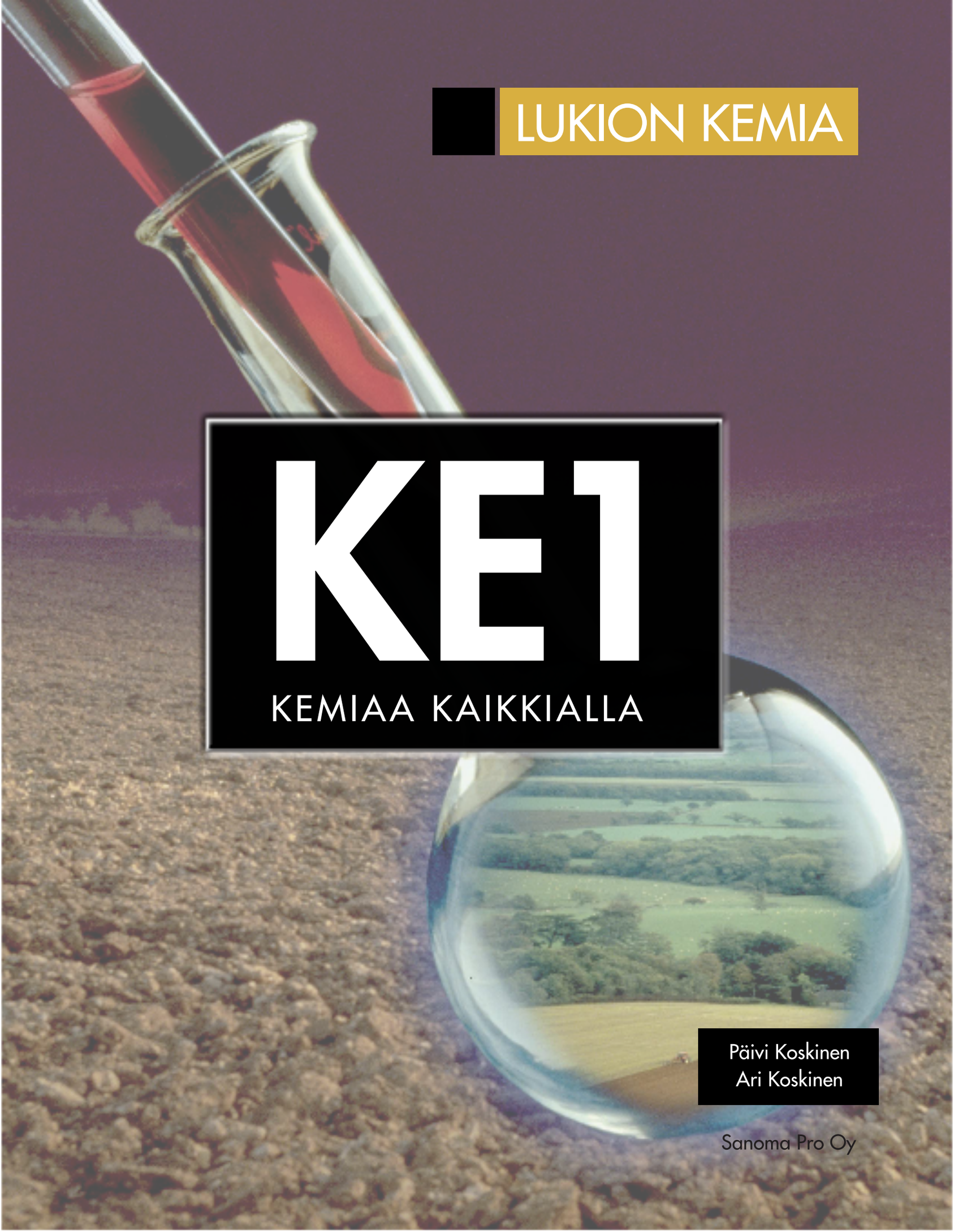
LUKION KEMIA

KE1

KEMIAA KAIKKIALLA



Päivi Koskinen
Ari Koskinen

Sanoma Pro Oy

Tiedustelut
Sanoma Pro Oy, Helsinki
puh. 020 391 000
sähköposti:
asiakaspalvelu@sanomapro.fi

www.sanomapro.fi

Kustantaja: Sanoma Pro Oy
1.–2. painos, 2016

ISBN 978-952-63-3573-5

Toimitus: Sanna Tarmi
Kuvatoimitus: Tekijät ja
Sanna Tarmi
Ulkoasu: Sari Jeskanen
Taitto: Tarja Heikkilä / Cosmograf
Kuvitus: Tekijät ja Pertti Heikkilä /
Cosmograf

© Ari Koskinen, Päivi Koskinen
ja Sanoma Pro Oy

Kopiointiehdot
Tämä teos on oppikirja, joka on suojattu tekijänoikeuslailla (404/61).

Tämän teoksen tai sen osan valokopiointi, skannaaminen tai muu digitaalinen kopiointi tai käyttö edellyttää oikeudenomistajan luvan.

Kopiosto ry myöntää teosten osittaiseen kopiointiin lupia. Tarkistakaa, mitkä valokopiointi- ja digiluvat ovat kohdallanne voimassa. Lisätietoja luvista www.kopiosto.fi

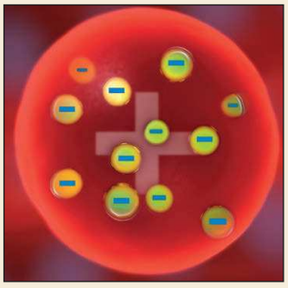
Teoksen tai sen osan muuntelu on kielletty.

Sisällysluettelo

I Aineet ympärillämme 5

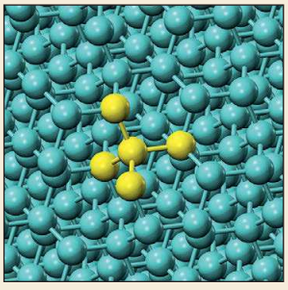
1 Kemia on… 6
2 Aineen eri muodot 11
3 Maailmankaikkeus 19
4 Maapallon aineet 23
5 Elämän alkuaineet 31
Visuaalinen kertaus 1 41

II Atomin rakenne ja jaksollinen järjestelmä 42



6 Atomi 43
7 Elektronirakenne 51
8 Jaksollinen järjestelmä 59
9 Jaksolliset ominaisuudet 67
Visuaalinen kertaus 2 75

III Vahvat sidokset 76



10 Ionisidos 77
11 Metallisidos 85
12 Kovalenttinen sidos 91
13 Vahvojen sidosten ominaisuudet 99
Visuaalinen kertaus 3 109

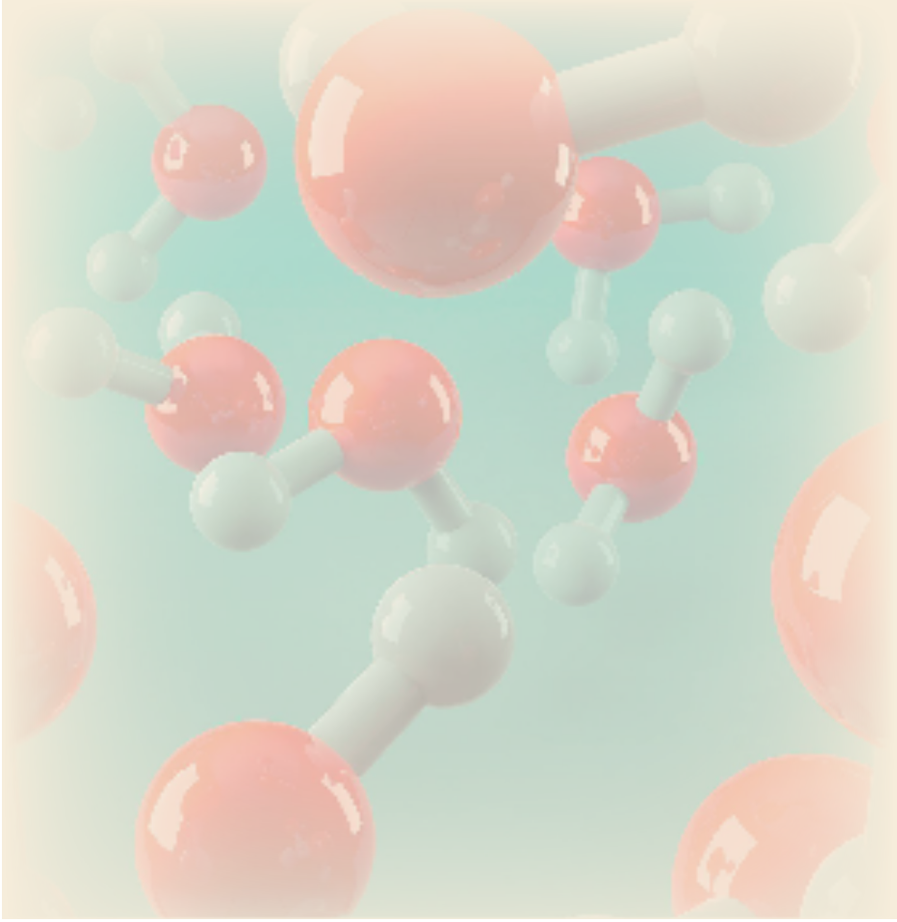
IV Heikot sidokset 110

14 Molekyylien väliset sidokset 111
15 Heikkojen sidosten ominaisuudet 117
16 Veden erityisominaisuudet 125
Visuaalinen kertaus 4 133

5 Kemian työkalut 134

17 Kysymykset tiedonhankinnassa 135
18 Kokeellista työskentelyä 141
19 Kemikaalien hyödyt ja haitat 147
20 Kemian merkitys 151

Liite 154
Käsitteet 155
Hakemisto 157
Valokuvien oikeudet 159
Piirrosten oikeudet 161

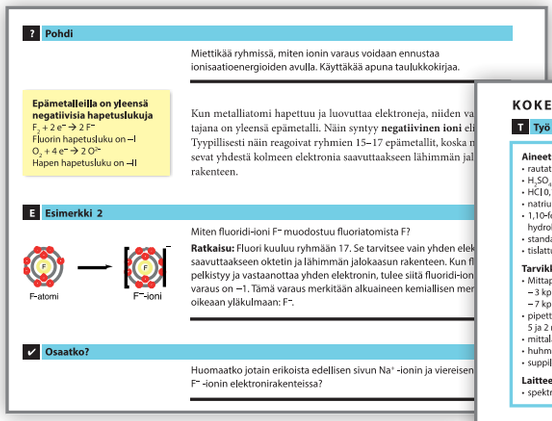


Näin käytän Lukion kemian aineistoa

Tämä oppikirja on jaettu viiteen jaksoon: Jaksot I ja II rakentavat kemian maailman alkuaineista jaksolliseen järjestelmään. Jaksoissa III ja IV opiskellaan kemiallinen sidos. Jakso V on kemian työkalulaatikko. Voit tutustua siihen heti kurssin alussa ja palata sinne minkä luvun yhteydessä tahansa, aina kun tarvitset tukea kokeelliseen työskentelyyn tai kemian kielen opiskeluun. Sähköinen aineisto tukee ja selventää painettua kirjaa. Sieltä löydät myös tehtävien ratkaisut.

Pohdi

Nämä välitehtävät auttavat sinua kiinnittämään juuri opiskellun asian laajempaan kokonaisuuteen. Pohdi-tehtäviä voit käyttää itsenäisen opiskelun tukena tai ryhmässä asiasisältöjen soveltamisen apuvälineenä.

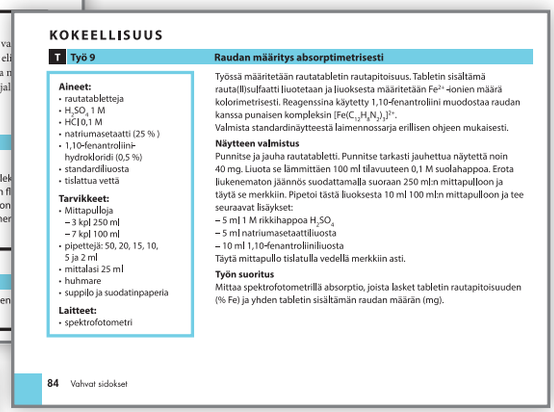


Esimerkki

Esimerkkitehtävissä on aina näkyvillä malliratkaisu ja selitys. Näiden avulla näet, miten yksittäisiä tietoja yhdistellään ja sovelletaan. Ne opastavat sinua myös vastaustekniikassa.

Osaatko

Tee osaatko-kysymyksiä, kun haluat heti tarkistaa, oletko ymmärtänyt ja sisäistänyt juuri opiskeltuja asiasisältöjä.



Kokeellisuus

Kokeellisten töiden työohjeet löydät aina suoraan sen kappaleen lopusta, jonka ilmiöön ne liittyvät. Työohjeet eivät välttämättä ole valmiita reseptejä. Opit näiden töiden avulla tutkimuksellisen lähetymistavan kemiaan kokeellisena luonnontieteenä.

Harjoitustehtävät

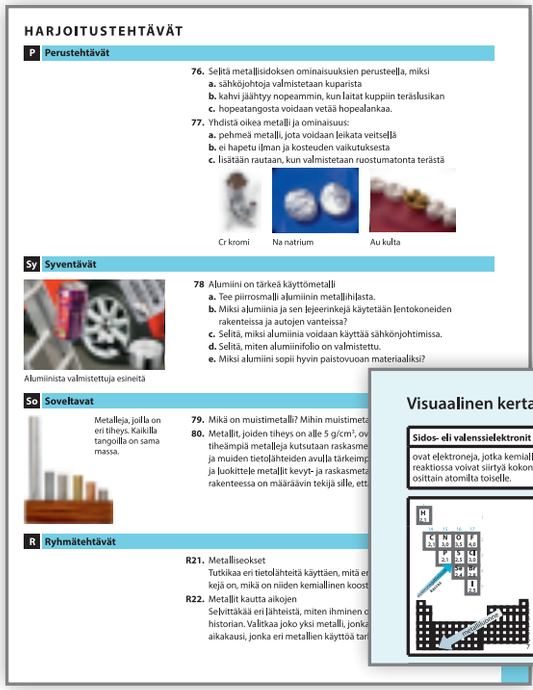
Harjoitustehtävät on laadittu siten, että niiden ratkaisut valmentavat tietosisältöjen lisäksi myös monipuoliseen tapaan tuottaa vastauksia. Ne ohjaavat erilaisten tietolähteiden käyttöön ja opastavat vuorovaikutteisuuteen. Tehtävät on lajiteltu useampaan eritasoiseen ja vastaustyyliltään eroavaan luokkaan:

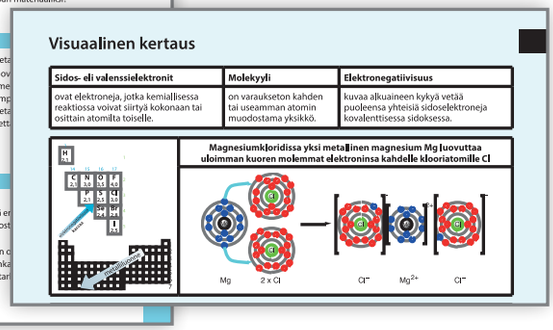
Perustehtävät

- sisältävät kappaleen ydinaineksen.
- ovat luonteeltaan määrittelleviä, luokittelevia ja tulkitsevia.

Syventävät ja soveltavat tehtävät

- edellyttävät kappaleen ainesten yhdistämistä ja soveltamista.
- ovat luonteeltaan erottelevia, arvioivia ja soveltavia.





Ryhmätehtävät ja tutkimustehtävät

- johdattavat yhdessä tekemiseen ja ongelmien pohtimiseen.
- opastavat erilaisten tiedonlähteiden pariin.
- valmentavat argumentoivaan tiedon arviointiin.

Visuaalinen kertaus

- kokoaa jokaisen jakson ydinaineksen visuaaliseksi kokonaisuudeksi.
- toimii kertaustyökaluna.
- auttaa hahmottamaan eri asiasisältöjen välisiä yhteyksiä.

I AINEET YMPÄRILLÄMME

1 Kemia on...
2 Aineen eri muodot
3 Maailmankaikkeus
4 Maapallon aineet
5 Elämän alkuaineet

Ensimmäiset atomit syntyivät hyvin pian alkuräjähdyksen jälkeen lähes 14 miljardia vuotta sitten. Uusia atomeja syntyy edelleen kaukaisissa tähdissä. Atomeista muodostuu lukemattomia erilaisia kemiallisia yhdisteitä. Yhdistelemällä kemiallisten yhdisteiden ominaisuuksia eri tavoin voimme tuottaa materiaaleja sekä rakentaa esineitä, laitteita, rakenteita ja koneita.

Kemian maailma rakentuu kuin palapeli: voimme jaotella kemian usealla tavalla ja tarkastella havaittavia ilmiöitä näiden jaottelutapojen kautta.

Mahdottomuus erottaa tieteen sanastoa tieteestä itsestään johtuu siitä, että jokainen fysikaalisten tieteiden ala koostuu kolmesta seikasta: joukosta tosiasioita, jotka muodostavat tieteen tutkimuskohteen, ajatukset, jotka kuvaavat näitä tosiasioita ja sanoista, joilla nämä ajatukset ilmaistaan.

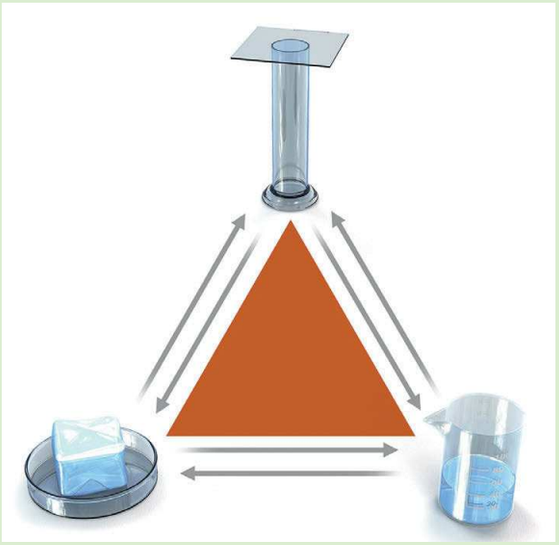
Lainaus teoksesta: Antoine-Laurent Lavoisier:
Traité Élémentaire de Chimie 1789

Tässä jaksossa tutustumme kemian perustaan aina atomeista kemiallisiin yhdisteisiin. Tarkastelemme mitä ne ovat, missä niitä esiintyy ja mikä niiden merkitys on.

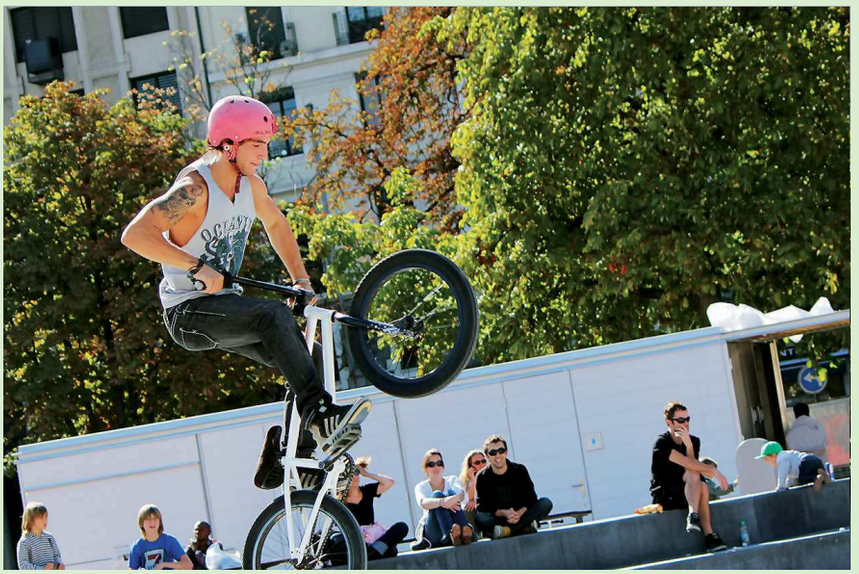
1 Kemia on…

! Luvun sisällys

- **Kemiaa on kaikkialla**
- **Kemiasta syntyy teknologiaa**
- **Kemiasta teollisuutta**
- **Kemian rakennemallit**
- **Atomit ovat aineen perusrakennusosia**



Kemiassa opiskelet aineeseen liittyvistä ominaisuuksista. Kemiassa aineet käyvät läpi kemiallisia reaktioita, joissa sidoksia purkautuu ja muodostuu.



Kemiaa on meissä ja kaikkialla ympäristössämme. Maailmamme koostuu kemikaaleista.

Kemiallista tutkimusta tehdään niin tutkimuslaitoksissa kuin teollisuuden laboratorioissa.

→ Osaat jo…

- Peruskoulussa olet opiskellut kemiaa hyvin käytännölliseltä kannalta. Tiedät pääpiirteissään, mitä ovat alkuaineet ja kemialliset yhdisteet. Muistat joitain kemiallisia reaktioita ja erilaisia aineisiin liittyviä ominaisuuksia.
- Olet tutustunut myös kokeellisen kemian perustöihin.

↓ Opiskelet nyt…

- mitä kemia on, mihin sitä voidaan soveltaa ja missä kemiaa käytetään.
- Opit myös aineiden perusominaisuuksia.

Opiskelet myöhemmin… →

- miten aineita luokitellaan ja miten seokset erotetaan.
- Opit olomuodon muutoksiin liittyvistä energiamuutoksista.
- Myöhemmissä luvuissa opit kemiallisen aineen rakenteesta ja kemiallisista sidoksista.
- Opit kokeellisen työskentelyn perustekniikat sekä tiedonhankintaan ja tulosten raportointiin liittyviä tärkeitä taitoja.

Kemiaa on luonnossa ja ihmisen valmistamana.

Kemiaa on kaikkialla

Teatteriesityksen arvostelussa ylistetään, että ”näyttelijöiden kemiat toimivat”. Uutisissa kerrotaan, että ”kemikaaliriippuvuus aiheuttaa merkittäviä sosiaalisia ongelmia”. Mainoskyltti ilmoittaa ”tuotteessa ei lisättyjä kemikaaleja”. Kemia ja kemikaalit esiintyvät jokapäiväisessä arjessa, vaikka näitä sanoja usein käytetään harhaanjohtavasti tai jopa väärin. Näyttelijät eivät vaihda kemikaaleja keskenään tai tee kemiallisia reaktioita toisilleen. Riippuvuusongelmat eivät johdu yksittäisistä kemikaaleista vaan niiden aiheuttamasta mielihyvästä – mielihyvälle voi tulla riippuvaiseksi, johtui se sitten suklaasta, kahvista tai pahimmillaan vahvoista huumeista. Kemikaaliton ruokahan on mahdotonta, kaikki ruoka sisältää monia erilaisia kemikaaleja, myös luonnonmukaisesti kasvatettu. Itse asiassa kaikki aine, niin elävä kuin eloton, koostuu yksinomaan kemikaaleista.

? Pohdi

Käykää väittely, jossa kaksi joukkuetta puolustavat kukin yhtä seuraavista väitteistä:
”Kemia on hyväksi ihmiskunnalle, koska…”
”Kemia on haitallista ihmiskunnalle, koska…”

Ruoka säilyy kemian keinoin
Ruoka-aineiden säilyvyys parani merkittävästi, kun ihminen oppi valmistamaan suolaa.

Oliivit säilötään hyvin vahvaan suolaliuokseen.

Laajamittainen juustonvalmistus ei olisi mahdollista ilman kemian tuntemusta.

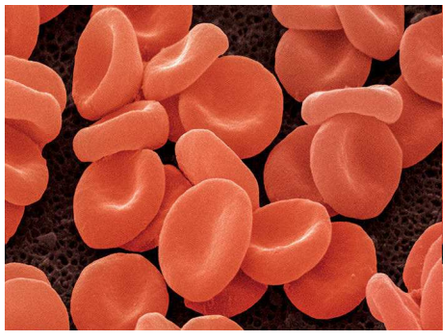
Kemiasta syntyy teknologioita

Käsittelemällä ja muuntamalla ympäristön raaka-aineita ihmiset ovat aina harjoittaneet jonkinasteista kemiaa. Kemiaa on sovellettu jo tuhansien vuosien ajan. Kivestä valmistetut työkalut olivat hauraita. Kun opittiin erottamaan puhtaampia metalleja sulattamalla malmeja, voitiin valmistaa kestävämpiä työkaluja sekä myös kauniita koruja. Nämä kemian teknologian saavutukset olivat niin tärkeitä, että puhummekin kivikaudesta, pronssikaudesta ja rautakaudesta.

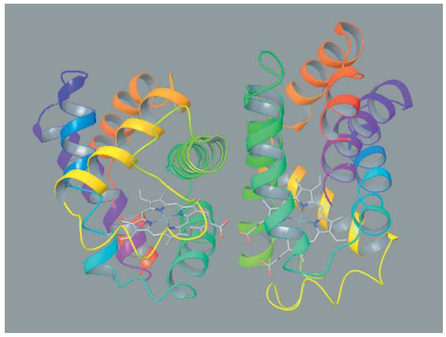
Saviastioiden kestävyyden parantamiseksi Japanissa opittiin niiden lasitus (n. 250–500 jaa.).

Kankaiden käsittely väriaineilla on tunnettu jo tuhansia vuosia. Synteettisten värien kehitys 1800-luvulla synnytti uusia muotivillityksiä silkin värjäyksessä.

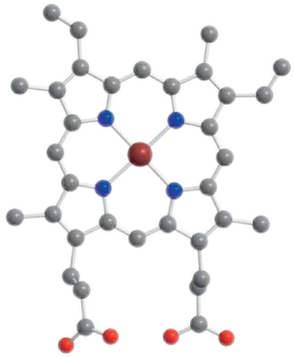
Lääkkeitä valmistetaan tarkkaan säädellyissä puhdastiloissa. Lääketeollisuus on esimerkki soveltavasta teollisuudesta, jossa perusraaka-aineista jalostetaan monimutkaisempia yhdisteitä ja tuotteita.



Elektronimikroskoopilla saadaan kuva punaisista verisoluista, jotka sisältävät hemoglobiinia.



Kuva happea kuljettavan hemoglobiinin mallista.



Jokaisen hemin keskelle sitoutuu rauta-ioni Fe^{2+}, jonka tehtävä on kuljettaa happea veressä.

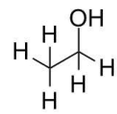
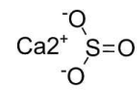
Kemiasta teollisuutta

Nykyisin kemistit osaavat paitsi yhdistellä erilaisia aineita, myös hajottaa aineet pienimpiin kemiallisiin osasiinsa atomeiksi. Atomeista taas voidaan koota uusia aineita, joita ei esiinny luonnossa ja joilla on joitakin uusia arvokkaita ominaisuuksia. Näin syntyvät moottoripolttoaineet ja tuhannet kemialliset yhdisteet, joista valmistetaan muoveja, synteettisiä kuituja, kankaita, lääkeaineita, tuholaismyrkkyjä sekä monia muita hyödyllisiä tarveaineita.

Kemian tietoja tarvitaan myös siihen, että voimme ymmärtää elämää ylläpitäviä toimintoja sekä ymmärtää ja säädellä ympäristölle haitallisia tai jopa vaarallisia tapahtumia, kuten savusumun syntymistä, vesien saastumista ja ilmakehän otsonikatoa. Koska kemia on tärkeä tiede monenlaisessa ihmisen toiminnassa, sitä kutsutaan keskeiseksi tieteeksi.

Kemian rakennemallit

Atomeja, ioneja ja molekyylejä ei voi havaita paljaalla silmällä, vaan niiden tarkastelemiseen tarvitaan erikoisia mikroskooppeja. Siksi kemiassa kuvataan näitä aineosasia erilaisin mallein. Mallit eivät ole valokuvia molekyyleistä, vaan ne kuvaavat joitakin kyseiselle mallille ominaisia piirteitä.

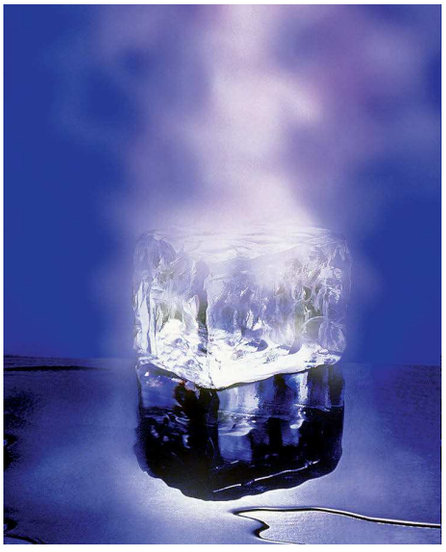
nimi	etanoli	kalsiumsulfaatti
molekyylikaava	C_2H_6O	$CaSO_4$
rakennekaava		
viivakaava		

Etanolin tietokonemalleja:

tikkumalli | pallotikkumalli | kalottimalli | elektronitiheysmalli

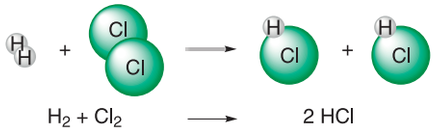
Molekyylikaava kertoo kuinka monta kutakin atomia molekyylissä on, mutta se ei kerro niiden keskinäistä järjestystä. **Rakennekaava** kertoo kunkin atomin sitoutumisen. Orgaanisten yhdisteiden **viivakaavoissa** jätetään usein hiiliatomeihin sitoutuneet vetyatomit merkitsemättä. Tikku- ja pallotikkumallit kertovat enemmän molekyylin kolmiulotteisesta rakenteesta, ja kalottimalli kuvaa atomien viemää tilaa. Erilaisilla tietokonemalleilla voidaan havainnollistaa esimerkiksi varausjakaumaa molekyylin liuottimelle alttiilla pinnalla.

Kemian symbolit
Alkuaineita merkitään kemiallisella merkillä, joka koostuu joko yhdestä isosta kirjaimesta tai isosta ja pienestä kirjaimesta:
kalium K tai **rauta Fe**
Jos aineessa on useampi samanlainen atomi, merkitään se alaviitteellä oikeaan alakulmaan:
happi O_2 tai vesi H_2O
Ionin varaus merkitään oikeaan yläkulmaan:
kalsiumioni Ca^{2+} tai
kloridi-ioni Cl^-



Jääkuution sulaessa kaikki kolme veden olomuotoa ovat havaittavissa: Jääkuutio itse on kiinteää vettä, sula vesi on nestemäisessä muodossa ja ilmaan on höyrystynyt kaasumaista vesihöyryä.

Esimerkki kemiallisesta reaktiosta esitettynä sekä pallomallilla että reaktioyhtälönä.



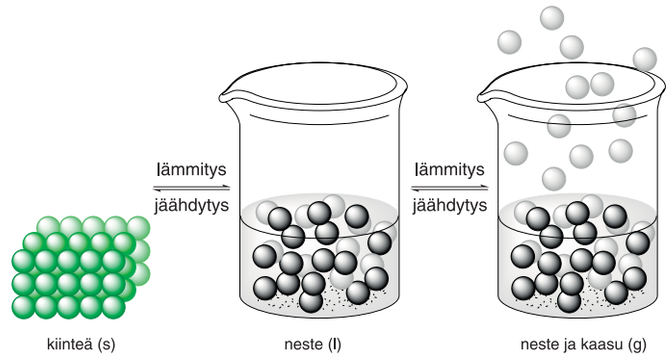
$H_2 + Cl_2 \longrightarrow 2\ HCl$

Kun vetymolekyyli ja kloorimolekyyli törmäävät toisiinsa riittävällä nopeudella ja oikeassa kulmassa, tapahtuu kemiallinen reaktio, jossa syntyy kaksi molekyyliä kloorivetyä.

Atomit ovat aineen perusrakennusosia

Tutustumme kemian peruskäsitteisiin ja aineiden ominaisuuksiin kemian eri kursseilla, mutta aluksi on hyvä tietää, että

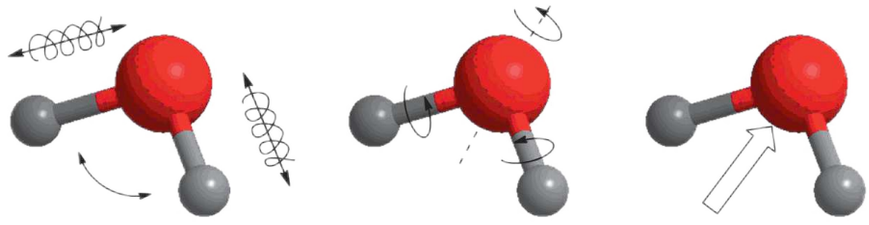
1. kaikki aine koostuu pienistä osista: atomeista, ioneista ja molekyyleistä. Näitä kaikkia kuvataan kemiassa symboleilla.
2. näitä osia pitävät yhdessä vetovoimat, joiden voimakkuus vaihtelee sitoutumistavan mukaan. Aineiden ominaisuudet, kuten kiehumispisteet ja sulamispisteet ja sitä kautta niiden olomuodot, riippuvat näistä sidoksista.



kiinteä | neste | neste ja kaasu

Kiinteässä aineessa aineen osien väliset vuorovaikutukset ovat niin voimakkaita, että ne voivat vain värähdellä paikoillaan. Nesteessä osasilla on enemmän liike-energiaa, ja ne voivat liukua toistensa ohi. Kun liike-energian määrä kasvaa edelleen, jotkut osaset pystyvät karkaamaan toistensa välisistä vetovoimista kaasumaiseen tilaan. Avoimesta astiasta nämä kaasuuntuneet osaset karkaavat ympäröivään ilmaan.

3. Kaikki rakenneosat ovat jatkuvassa liikkeessä, niin osien sisällä kuin niiden kesken.



vibraatio värähtely (venyminen ja taipuminen) | rotaatio pyöriminen | translaatio etenevä liike

Lämmön vaikutuksesta aineosaset (tässä kuvassa vesimolekyyli H_2O) voivat liikkua eri tavoin. Osasen sisällä sen atomit voivat värähdellä toisiinsa nähden; ne voivat pyöriä toisiinsa nähden tai koko molekyyli voi pyöriä; tai koko molekyyli etenee suoraviivaisesti.

4. Liikkuessaan osaset voivat törmätä toisiinsa.
5. Törmäykset voivat johtaa kemialliseen reaktioon.

HARJOITUSTEHTÄVÄT

P Perustehtävät

1. Mistä aineosista koostuvat
a. ilma
b. merivesi
c. jäätelö?

2. Mitä muutoksia tapahtuu ilmassa, kun sää kylmenee syksyllä? Miksi?

3. Selitä seuraavat merkinnät:
a. Mg **b.** Na^+ **c.** SO_2 **d.** N_2 **e.** KBr.

4. **a.** Mikä ero on molekyylikaavalla ja rakennekaavalla?
b. Mitä tarkoittavat alaindeksit kaavassa $C_3H_6O_3$?

5. Elinympäristössämme aineet esiintyvät kolmessa olomuodossa. Luettele nämä olomuodot. Selvitä taulukkokirjan avulla, mitkä ovat seuraavien aineiden olomuodot huoneenlämmössä (+20 °C):
timantti hiilidioksidi natriumkloridi happi etanoli bensiini (oktaani).

Sy Syventävät

6. Mitä tarkoitetaan molekyylimallituksella?

7. Selitä ja piirrä mallikuva, mitä ovat translaatio, rotaatio ja vibraatio?

8. Mitkä seuraavista ovat alkuaineita ja mitkä kemiallisia yhdisteitä?
a. H_2O ja H_2 **b.** Co ja CO **c.** NO ja No

9. Etsi kotoasi kolme erilaista kemikaalia ja tutustu niiden tuoteselosteeseen. Selvitä kirjallisuuden avulla, mitä aineita tuotteet sisältävät sekä niiden rakennekaavat ja alkuperä.

10. Nimeä alkuaine, johon seuraavat vihjeet sopivat:
a. lisätään hammastahnaan vahvistamaan hammaskiillettä
b. saadaan hengityksessä ja veri kuljettaa kaikkialle
c. merkittävin teollisuuden metalli, teräksen raaka-aine

So Soveltavat

11. Selvitä jonkun tuotteen elinkaari: raaka-aineiden lähde, valmistus, kuljetus, myynti ja hävitys/kierrätys.

12. Perustele, mikä on paras virvoitusjuoma-astia: lasipullo, alumiinitölkki vai muovipullo?

R Ryhmätehtävät

R1. Mitkä ovat Suomen kemianteollisuuden nykyiset päätoimialat?

R2. Kemianteollisuuden historia meillä ja muualla.

R3. Kemianteollisuuden energia- ja ympäristökysymykset.

2 Aineen eri muodot

! Luvun sisällys

- **Aineiden koostumus**
- **Seokset**
- **Puhtaat aineet**
- **Liuokset**

Hajuvesien tuoksuaineita valmistetaan tislaamalla vuosisatoja käytössä olleella tekniikalla.

Puhdas aine voi esiintyä joko järjestäytyneenä kiteenä, juoksevana nesteenä tai vapaasti ilmaan karkaavana kaasuna.

Maalit ovat kemiallisia seoksia liuottimista, sideaineista sekä täyte- ja väriaineista.

→ Osaat jo…

- ajatella, mitä kemia on ja mihin sitä tarvitaan.
- Opit, että kemian merkinnöissä käytetään symboleja ja aineita kuvataan malleilla.

↓ Opiskelet nyt…

- millaisissa eri muodoissa aine voi esiintyä.
- Opit lisäksi valmistamaan erilaisia liuoksia ja laskemaan niissä olevan aineen pitoisuuden.

Opiskelet myöhemmin… →

- maailmankaikkeuden, maapallon ja elämän aineista,
- alkuaineiden rakenteesta,
- kemiallisista sidoksista ja niiden vaikutuksista aineiden käyttäytymiseen.

KEMIKAALI

Metalleja ja niiden suoloja sekä suoloista valmistettuja liuoksia

Kotitaloudessa käytettävät nestemäiset pesuaineet ovat orgaanisten suolojen vesiliuoksia. Niiden säilytysastiat on yleensä valmistettu muovista – kemikaali sekin.

Aineiden koostumus

Kaikki aineet ympärillämme, jopa ne, joita et havaitse, ovat jollain tavoin **kemikaaleja**. Kemikaalit voivat olla **alkuaineita**, **kemiallisia yhdisteitä** tai niistä muodostettuja erilaisia **seoksia** ja **liuoksia**. Luonnossa esiintyy aineita hyvin harvoin aivan puhtaina alkuaineina. Jopa kemialliset yhdisteet löytyvät ennemmin seoksina kuin yksinään.

Kemikaaleja voidaan myös valmistaa teollisesti. Osa valmistuksesta on luonnossa olevien aineiden **eristämistä** ja **kemiallista puhdistamista**.

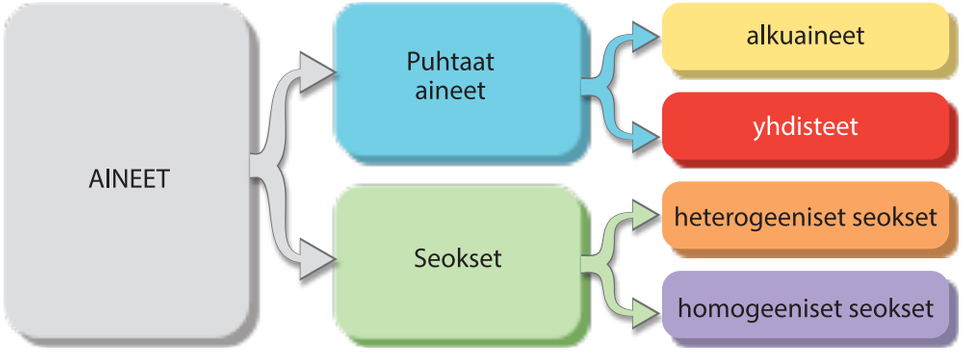
Joskus ainetta joudutaan valmistamaan teollisesti luonnon raaka-aineesta. Näin tehdään esimerkiksi, kun valmistetaan metalleja malmien sisältämistä mineraaleista. Teollisesti valmistamme myös monimutkaisempia kemiallisia yhdisteitä, kuten lääkeaineita. Kaikkein tutuimpia arkikäytössä olevia kemikaaleja ovat seokset, joita valmistetaan tuotteiksi erilaisista puhtaista aineista. Kemikaalituotteita ovat esimerkiksi pesuaineet, maalit, lääkevalmisteet ja muovit.

? Pohdi

Katsele ympäristöäsi kemistin silmin. Valitse yksi kemikaali koulussa, kotimatkalla ja kotona. Selvitä, mitä aineita ne sisältävät, ja luokittele ne luonnossa esiintyviin ja ihmisen valmistamiin.

Seokset

Aineet voidaan jakaa joko puhtaisiin aineisiin tai seoksiin. Kemiallinen seos sisältää aina vähintään kahta erilaista kemiallista ainetta. Voimme edelleen luokitella seokset niiden koostumuksen mukaan kahteen eri luokkaan: **homogeeniset** eli **tasakoosteiset seokset**, joissa kaikki seoksen aineet ovat samassa olomuotoalueessa eli **faasi**ssa, ja **heterogeeniset** eli **sekakoosteiset seokset**, joissa voimme erottaa vähintään kaksi eri faasia.



Heterogeenisia seoksia

Heterogeenisen seoksen komponentit voivat olla samaa olomuotoa, kuten ruokaöljyn ja veden seos.

Vesiväri on kiviaineksista valmistettua kiinteää jauhetta. Kun sekoitat sitä veden kanssa, muodostuu kiinteän ja nesteen välinen heterogeeninen seos. Väriaineen erottumista vedestä ja painumista astian pohjalle kutsutaan sedimentoitumiseksi.

Kipulääkkeitä voidaan annostella ihon läpi imeytyvässä geelimuodossa. Tämä suojaa lääkeaineen aiheuttamalta vatsaärsytykseltä.

Homogeenisia seoksia ovat esimerkiksi erilaiset liuokset, kuten suolavesi, jossa suola on liuennut veteen. Myös puhdas ilma on typen, hapen, argonin, hiilidioksidin ja pienemmässä määrin muiden kaasujen seos. Metalliseokset, kuten pronssi, ovat myös homogeenisia seoksia.

Heterogeenisessa seoksessa voit usein jopa nähdä erilaisia olomuotoalueita tai kerroksia. Heterogeenisen seoksen aineet eli **komponentit** voivat olla myös samaa olomuotoa. Jos kaadat ruokaöljyä veteen, öljykerros erottuu veden päälle omaksi nestekerrokseksi. Vesiväri on kiviaineksista valmistettua kiinteää jauhetta. Kun sekoitat sitä veden kanssa, muodostuu kiinteän ja nesteen välinen heterogeeninen seos.

Toisinaan heterogeeninen seos näyttää yhtenäiseltä. Tällöin jokin seoksen komponenteista on niin hienojakoisessa muodossa sekoittuneena toiseen komponenttiin, että et näe eroa paljaalla silmällä. Nämä seokset ovat **dispersioita**. Jos jonkin seoksen yhden komponentin kappalekoko on alle 0,1 mm eli 100 µm, kutsutaan seosta **kolloidiseksi**. Jos dispergoitunut aine sitoo väliaineen kokonaan tai osittain sisälleen, muodostuu **geeli**, joka on paksu kolloidinen liuos.

Taulukko 2.1. Dispersiotyypit

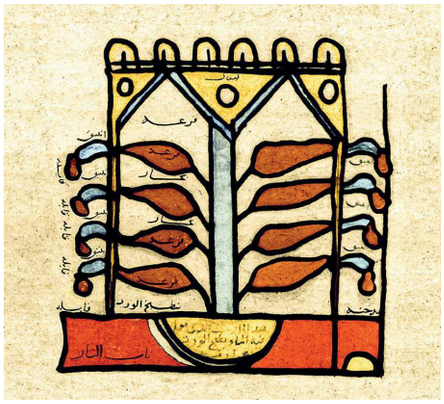
Dispersiotyyppi	Kuvaus	Esimerkkejä
aerosoli (neste)	neste kaasussa	sumu, hiuslakka
aerosoli (kiinteä)	kiinteä kaasussa	savu
vaahto	kaasu nesteessä	partavaahto, kermavaahto
emulsio	neste nesteessä	maito, majoneesi, kosteusvoide
suspensio (sooli)	kiinteä nesteessä	vesivärimaali, liete
kiinteä vaahto	kaasu kiinteässä	solumuovi, vaahtokaramelli
kiinteä emulsio	neste kiinteässä	helmi, voi
kiinteä suspensio	kiinteä kiinteässä	rubiinilasi

Käsittelemätön maito on heterogeeninen seos, jossa rasva eli kerma nousee pinnalle, kun maidon annetaan seistä. Kaupoissa myytävän maidon rasvapallot on **homogenoitu** meijerissä hajottamalla ne kolloidisiksi pisaroiksi. Emulsioita valmistettaessa joudutaan usein käyttämään faaseja sitovia aineita, **emulgointiaineita**, estämään kerrosten eroamista. Esimerkiksi kananmunan keltuainen sisältää lesitiini-nimistä ainetta, joka sitoo majoneesin veden ja öljyn yhteen, homogenoi ne. Myös kosteusvoiteet sisältävät emulgointiaineita.

D Demonstraatio

Kahteen koeputkeen otetaan kumpaankin ruokaöljyä ja ruokaetikkaa suhteessa 1:2. Toiseen koeputkista lisätään hiukan kananmunan keltuaista. Koeputkia ravistetaan voimakkaasti ja jätetään lopputunnin ajaksi koeputkitelineeseen. Mikä vaikutus kananmunan keltuaisella on seokselle?

Tislaus



Hyväntuoksuisten öljyjen erotus tislaamalla lääkinnällisiin tarkoituksiin on ollut yksi varhaisimmista teollisista prosesseista. Tislauksesta on mainintoja jo ajanlaskumme alkuajoilta lähtien. Kuvassa on arabialainen ruusuveden tislauslaite 1200-luvulta.

Tekninen ja materiaalien kehitys on mahdollistanut monimutkaisempien tislausjärjestelmien eli kolonnien valmistamisen. Kuvassa valmistetaan biopolttoainetta pohjakolonnilla, jossa on useita venttiilejä eri lämpötiloissa kiehuville ja tiivistyville nesteille. Samalla periaatteella toimivat öljynjalostuksen tislaustornit.

Seosten erotusmenetelmiä

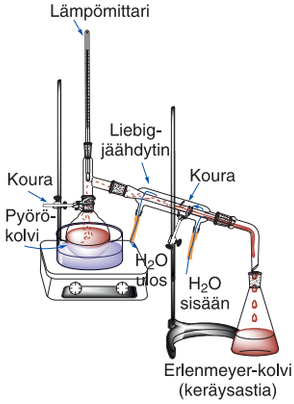
Seosten valmistaminen on keskeinen osa erilaisten kemikaalien valmistusta niin kotona kuin teollisuudessa. Vähintään yhtä tärkeää on seosten komponenttien erottaminen toisistaan. Erotusmenetelmiä on useita. Menetelmän valintaan vaikuttavat seoksen luonne ja se, kuinka puhtaina eri komponentit halutaan saada erotetuiksi. Joskus joudutaan käyttämään eri menetelmiä peräkkäin. Erotusmenetelmät perustuvat usein aineiden erilaisiin liukoisuuksiin tai niissä käytetään hyväksi olomuotojen muutoksia. Heterogeenisen seoksen komponentit voidaan usein erottaa pelkillä mekaanisilla keinoilla, mutta homogeenisen seoksen aineiden erottaminen vaatii aina energiaa.

EROTUSMENETELMÄT

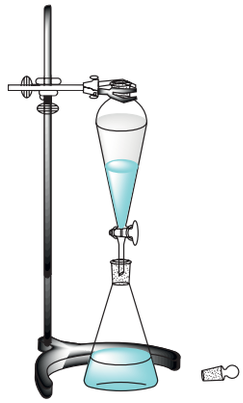
Mekaaniset:
- dekantointi
- suodatus
- sentrifugointi

Energiaa vaativat:
- haihdutus
- tislaus
- sublimonti / härmistys
- kiteytys

Liukoisuuseroihin perustuvat:
- uutto
- kromatografia



Nykyisin käytössä oleva tislauslaitteisto on hyvin samanlainen kuin laitteet, joita on käytetty jo 1800-luvulta lähtien.



Erotussuppiloa käytetään erottamaan toisiinsa liukenemattomat nesteet. Faasit erottuvat niiden tiheyksien mukaan raskaamman asettuessa alemmaksi.

Suodatussuppiloon asetettu taiteltu suodatinpaperi auttaa erottamaan kiinteän aineen liuoksesta heterogeenisessa seoksessa.

✔ Osaatko?

Mikä ero on seuraavilla erotusmenetelmillä?
a. haihdutus ja tislaus b. uutto ja kromatografia

Olomuotomerkinnät

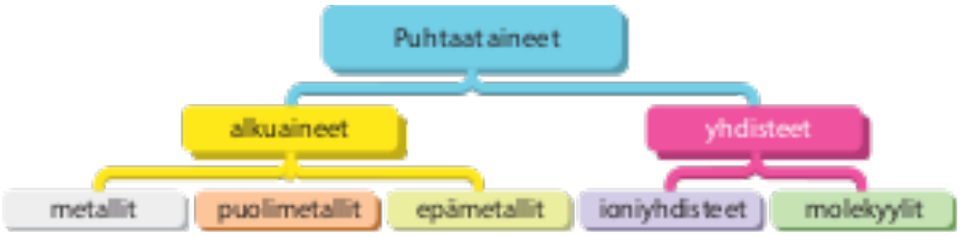
kiinteä (s) – *solid* esim. Fe(s)
neste (l) – *liquid* esim. $H_2O(l)$
kaasu (g) – *gas* esim. $N_2(g)$

Vesiliuoksessa olevan aineen olomuotomerkintänä käytetään (aq) aqueous.
esim. $NH_3(aq)$ tai
$Na^+(aq) + Cl^-(aq)$

Kemiallisissa reaktioissa käytämme olomuotomerkintöjä. Tämä kuvaa ruokasuolan liukenemista veteen.
$NaCl(s) + H_2O(l) \rightarrow Na^+(aq) + Cl^-(aq)$

Puhtaat aineet

Sivun 12 kaaviosta näet, että puhtaat aineet jaetaan alkuaineisiin ja kemiallisiin yhdisteisiin. Alkuaineet jaetaan edelleen metalleihin, puolimetalleihin ja epämetalleihin. Alkuaineet sisältävät vain yhtä atomilajia. Tutustut niihin yksityiskohtaisemmin jaksossa III. Kemiallinen yhdiste sisältää vähintään kahta eri atomilajia. Kemialliset yhdisteet voidaan jakaa niissä esiintyvien kemiallisten sidosten perusteella ioniyhdisteisiin eli suoloihin ja molekyyleihin. Kemialliset sidokset ja erilaisten yhdisteiden ominaisuudet opiskelet jaksoissa IV ja V.



Olomuotojen muutokset

Kemiallisessa reaktiossa atomien välisiä sidoksia muodostuu ja katkeaa. Syntyvillä kemiallisilla yhdisteillä on uusia lähtöaineistaan poikkeavia ominaisuuksia. **Fysikaalisessa muutoksessa** aine pysyy samana. Fysikaalisia muutoksia ovat olomuodon muutos ja liukeneminen. Aineen sulamis- ja kiehumispiste, tiheys ja lämmönjohtavuus ovat esimerkkejä **fysikaalisista ominaisuuksista**. Kemiallisesti samankaltaisilla aineilla on keskenään myös samanlaisia fysikaalisia ominaisuuksia. Esimerkiksi metallit johtavat sähköä, mutta molekyylit yleensä eivät.

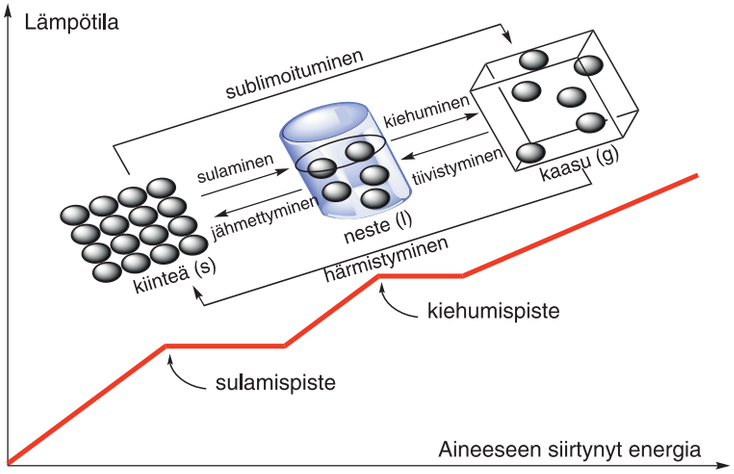
Olomuodon muutoksiin liittyy aina energiamuutoksia. Kun ainetta lämmitetään, saa se liike-energiaa, joka katkaisee aineessa olevat olomuotoa koossa pitävät sidokset. Näihin palaamme luvussa 15.

!

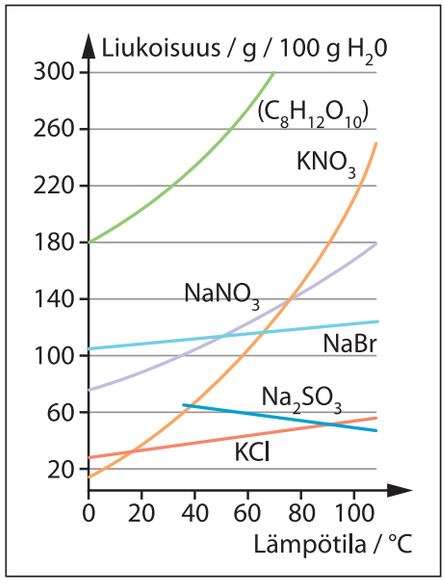
Olomuodon muutoksiin liittyy energiamuutoksia:
Lämpöä sitova muutos on **ENDOTERMINEN**
Lämpöä vapauttava muutos on **EKSOTERMINEN**

Veden olomuodon muutokset ja niihin liittyvät energianmuutokset

Olomuodon muutos	Energian muutos
kiinteä → neste $H_2O(s) \rightarrow H_2O(l)$	endoterminen
neste → kaasu $H_2O(l) \rightarrow H_2O(g)$	endoterminen
kaasu → neste $H_2O(g) \rightarrow H_2O(l)$	eksoterminen
neste → kiinteä $H_2O(l) \rightarrow H_2O(s)$	eksoterminen



Jos kiinteän aineen annetaan lämmetä riittävästi, se alkaa sulaa.
Jos lämmittämistä jatketaan edelleen, saman aineen neste alkaa kiehua.



Joidenkin aineiden liukoisuuksia

Liukset

Liuoksen muodostavat kaksi ainetta, jotka toisiinsa sekoittuessaan muodostavat homogeenisen seoksen. Ruokasuolan liuetessa ionit irtoavat toisistaan ja saavat ympärilleen vesiverhon: $NaCl(s) \rightarrow Na^+(aq) + Cl^-(aq)$. Sokeri taas liukenee kokonaisina molekyyleinä: $C_6H_{12}O_6(s) \rightarrow C_6H_{12}O_6(aq)$.

Yleissääntö on, että kemiallisesti samanlainen liuottaa samanlaista. Sokeri ja suola liukenevat hyvin veteen, koska niiden kemialliset ominaisuudet ovat lähellä veden ominaisuuksia. Rasvatahroja voi poistaa bensiinillä, koska ne molemmat koostuvat samankaltaisista hiilivedyistä. Kemiallisten ominaisuuksien lisäksi liukoisuus riippuu myös esimerkiksi lämpötilasta. Aineet eivät yleensä liukene toisiinsa kaikissa suhteissa. Kun samaa ainetta ei enää liukene toiseen aineeseen, kutsutaan seosta **kylläiseksi** tämän aineen suhteen.

Seoksen pitoisuuden laskeminen

Kiinteän aineen massaprosenttiosuudella tarkoitetaan määritettävän aineen osuutta koko näytteen massasta. Liuoksessa massaprosenttisuus puolestaan ilmoittaa liuenneen aineen massan osuuden koko liuoksen massasta. Kun liuoksen pitoisuus ilmoitetaan tilavuusprosentteina, tarkoitetaan liuenneen aineen tilavuuden osuutta koko liuoksen tilavuudesta. Merkintänä käytetään tällöin joko til-% tai vol-%.

MASSAPROSENTTIOSUUS
kiinteät näytteet

$$m\text{-}\% = \frac{\text{määritettävän aineen massa}}{\text{tutkittavan näytteen massa}} \cdot 100\%$$

liuokset

$$m\text{-}\% = \frac{\text{liuenneen aineen tilavuus}}{\text{tutkittavan liuoksen tilavuus}} \cdot 100\%$$

TILAVUUSPROSENTTIOSUUS

$$\text{til-}\% = \frac{\text{liuenneen aineen tilavuus}}{\text{tutkittavan aineen tilavuus}} \cdot 100\%$$

PIENET PITOISUUDET

Pieniä pitoisuuksia voidaan esittää **promilleina** eli tuhannesosina. Näin ilmoitetaan esimerkiksi veren alkoholipitoisuus.

$$‰ = \frac{1}{1000}$$

Ympäristötutkimuksissa on usein käytettävä vieläkin pienempiä pitoisuuksia: miljoonasosaa eli **ppm** (engl. parts per million) tai miljardisosaa **ppb** (engl. parts per billion).

$$ppm = \frac{1}{1\,000\,000} = \frac{1}{10^6}$$

$$ppb = \frac{1}{1\,000\,000\,000} = \frac{1}{10^9}$$

E Esimerkki

Pussikeitto valmistetaan lisäämällä 68 g:n kuivajauheseokseen 800 g vettä. Tuoteselosteen mukaan kuivajauhe sisältää suolaa (NaCl) 4,3 g. Valmista keittoa tulee 0,9 l. Siihen lisätään 150 ml kermaa ennen tarjoilua.

a. Laske kuivajauheen suolapitoisuus massaprosentteina (*m*-%).
b. Laske valmiin keiton kuivajauhepitoisuus.
c. Laske kerman tilavuusprosenttinen osuus valmiista keitosta.

Ratkaisu

a. $m(\text{NaCl}) = 4{,}3\ \text{g}$
$m(\text{kuivajauhe}) = 68\ \text{g}$

$$m\text{-}\%(NaCl) = \frac{m(\text{NaCl})}{m(\text{kuivajauhe})} = \frac{4{,}3\ \text{g}}{68\ \text{g}} = 0{,}06323... \approx 6{,}3\ \%$$

b. $m(\text{vesi}) = 800\ \text{g}$ eli $m(\text{liuos}) = 800\ \text{g} + 68\ \text{g} = 868\ \text{g}$

$$m\text{-}\%(\text{kuivajauhe}) = \frac{m(\text{kuivajauhe})}{m(\text{liuos})} = \frac{68\ \text{g}}{868\ \text{g}} = 0{,}07834... \approx 7{,}8\ \%$$

c. $V(\text{kerma}) = 150\ \text{ml} = 0{,}150\ \text{l}$
$V(\text{keitto}) = 0{,}9\ \text{l}$ eli tarjoiluvalmis keitto: $V(\text{valmis keitto}) = 0{,}9\ \text{l} + 0{,}150\ \text{l} = 1{,}050\ \text{l}$

$$\text{til-}\%(\text{kerma}) = \frac{V(\text{kerma})}{V(\text{valmis keitto})} = \frac{0{,}150\ \text{l}}{1{,}050\ \text{l}} = 0{,}14285... \approx 14{,}3\ \%$$

Vastaus: **a.** Kuivajauhe sisälsi 6,3 *m*-% suolaa.
b. Valmiissa keitossa oli 7,8 *m*-% kuivajauhetta.
c. Tarjolle tuotavassa keitossa on 14,3 tilavuusprosenttia kermaa.

HARJOITUSTEHTÄVÄT

P Perustehtävät

13. **a.** Pohdi, miten voidaan tietää, mitkä aineet ovat puhtaita aineita ja mitkä ovat seoksia?
b. Luokittele seuraavat aineet puhtaisiin aineisiin ja seoksiin. Perustele.
vesijohtovesi, pronssi, maito, hiilidioksidi, kosteusvoide, sokerivesi, metaani, kupari, virvoitusjuoma, bensiini, kuparisulfaatti, typpi.

14. Luokittele seuraavat aineet alkuaineeksi, kemialliseksi yhdisteeksi tai seokseksi.
a. Aine A sisältää vain yhdenlaisia atomeja.
b. Aine B sisältää yhtä lajia positiivisia ioneja ja negatiivisia ioneja.
c. Aine C sisältää kolmenlaisia molekyylejä.
d. Aine D sisältää yhdenlaisia molekyylejä, joissa on kaikissa kahta erilaista atomilajia.

15. Montako faasia on seuraavissa seoksissa. Nimeä faasit.
a. salaatinkastike, jossa on vettä, etikkaa ja öljyä
b. sangollinen vettä, joka on osittain jäätynyt
c. purkillinen suolavettä
d. paketillinen jäätelöä

16. Luokittele seuraavan listan aineet liuoksiin tai taulukon 2.1 mukaisiin dispersiotyyppeihin. Joskus tuote voi olla kahta tyyppiä.
muotovaahto, margariini, kiisseli, siirappi, ruokaetikka, vaahtomuovi.

17. Mikä olomuodon muutos tapahtuu seuraavissa tapauksissa?
a. Puun oksat huurtuvat talvella.
b. Kuuman saunan ikkunaan ilmestyy vesipisaroita.
c. Vesi haihtuu kattilasta liedellä.
d. Jääpalarasiaan tulee jäitä pakastimessa.
e. Sula uudenvuoden tina kaadetaan veteen.

Sy Syventävät

18. Mitä työmenetelmiä käytät, jos sinun pitää
a. erottaa suolaa merivedestä?
b. selvittää kahden eri luonnonvesinäytteen lietemäärä?
c. selvittää tuntemattoman kasvinäytteen aineiden määrä?

19. Ovatko seuraavat tapahtumat fysikaalisia vai kemiallisia muutoksia?
a. dynamiitin räjähdys
b. pyykin kuivuminen pakkasella
c. raudan ruostuminen
d. virvoitusjuoman valmistus vedestä, hiilidioksidista ja makusiirapista.

20. Mikä on seuraavien aineiden olomuoto huoneenlämpötilassa
a. Aineen A sulamispiste on 839 °C ja kiehumispiste 1 480 °C.
b. Aineen B sulamispiste on –95,4 °C ja kiehumispiste 56,2 °C.
c. Aineen C sulamispiste on –189,7 °C ja kiehumispiste –42,1 °C.

Th Tiedonhankintatehtävät

Tutustu LUKION KEMIA 1:n sähköiseen materiaaliin ja muihin tietolähteisiin ja tee tutkielma yhdestä tai useammasta seuraavista aiheista:

T1. Ota selvää, mitä aineita luonnonvedet sisältävät ja miten ne voivat vaikuttaa vesien ominaisuuksiin.

T2. Ihmisen toiminnan seuraukset vesistöjen tilaan.

T3. Liikenteen ja teollisuuden päästöjen vaikutukset ilman puhtauteen.

KOKEELLISUUS

T Työ 1 Kaivovesitutkimus

Onko kaivovesi juotavaa?
Hyvän juomaveden rautapitoisuuden tulee olla alle 20 mg/l. Erään kaivon vesianalyysissä saatiin rautapitoisuudeksi 47 ppm. Muunna tämä yksikköön mg/l ja arvioi, onko kaivovesi hyvää juotavaksi. Veden tiheys on 1,0 g/ml.

Selvitä eri tietolähteistä, mitä vesinäytteiden analyysitulokset tarkoittavat. Miltä osin tutkitut näytteet eivät täytä juomavedelle asetettuja vaatimuksia? Tutustu oman alueesi vesihuoltoon.

Näyte 1:	Porakaivo
E. coli pmy100 ml	0
Koliformiset bakteerit pmy/ml	0
pH 22,1 °C	7,5
Rauta Fe µm/ml	230
Fluoridi F^- mg/ml	0,7
Kloridi Cl^- mg/ml	78
Mangaani Mn µm/ml	170
Radon Rn	220

Näyte 2:	Rengas-kaivo
E. coli mpn/ml	0
Koliformiset bakteerit mpn/ml	250
Nitraattityppi mg/ml	6,2
Nitriittityppi mg/l	0,7
pH 25,3 °C	6,4
Rauta Fe µm/ml	50
Fluoridi F^- mg/ml	0,2
Sähkönjoht. µS/cm	120
Kovuus °dH	4
Sameus NTU	2,3

Näyte 3:	Vesijohto-verkko
E. coli pmy100 ml	0
Koliformiset bakteerit pmy/ml	0
pH 21,8 °C	7,8
Rauta Fe µm/ml	240
Väri	10
Sähkönjoht. µS/cm	272,4

T Työ 2 Seoksen massaprosenttinen koostumus

Suolapitoisuuden laskeminen
Laske seoksen massaprosenttinen koostumus, kun seoksessa on 435 g magnesiumkloridia $MgCl_2$ ja 398 g natriumkloridia NaCl.

Saat opettajaltasi heterogeenisen näytteen, joka sisältää kolmea kiinteää ainetta: ammoniumkloridia eli salmiakkia NH_4Cl, ruokasuolaa eli natriumkloridia NaCl ja kvartsihiekkaa eli piidioksidia SiO_2.

1. Suunnittele koesarja, jolla erotat kaikki kolme ainetta toisistaan ja punnitse niiden massa.
2. Laadi erotuskaavio ja taulukoi punnitustuloksesi.
3. Laske kunkin aineen massaprosenttinen osuus. Saitko 100 %?
4. Missä voi tapahtua virheitä? Tee parannusehdotukset työohjeeseesi.

T Työ 3 Liuoksen valmistus

Infuusioliuoksen valmistus
Fysiologinen suolaliuos on 0,90 *m*-% NaCl:n vesiliuos. Tätä liuosta pitää valmistaa 500 ml suonensisäistä infuusioliuosta varten. Miten valmistat liuoksen? Oletetaan, että liuoksen tiheys on 1,0 kg/l.

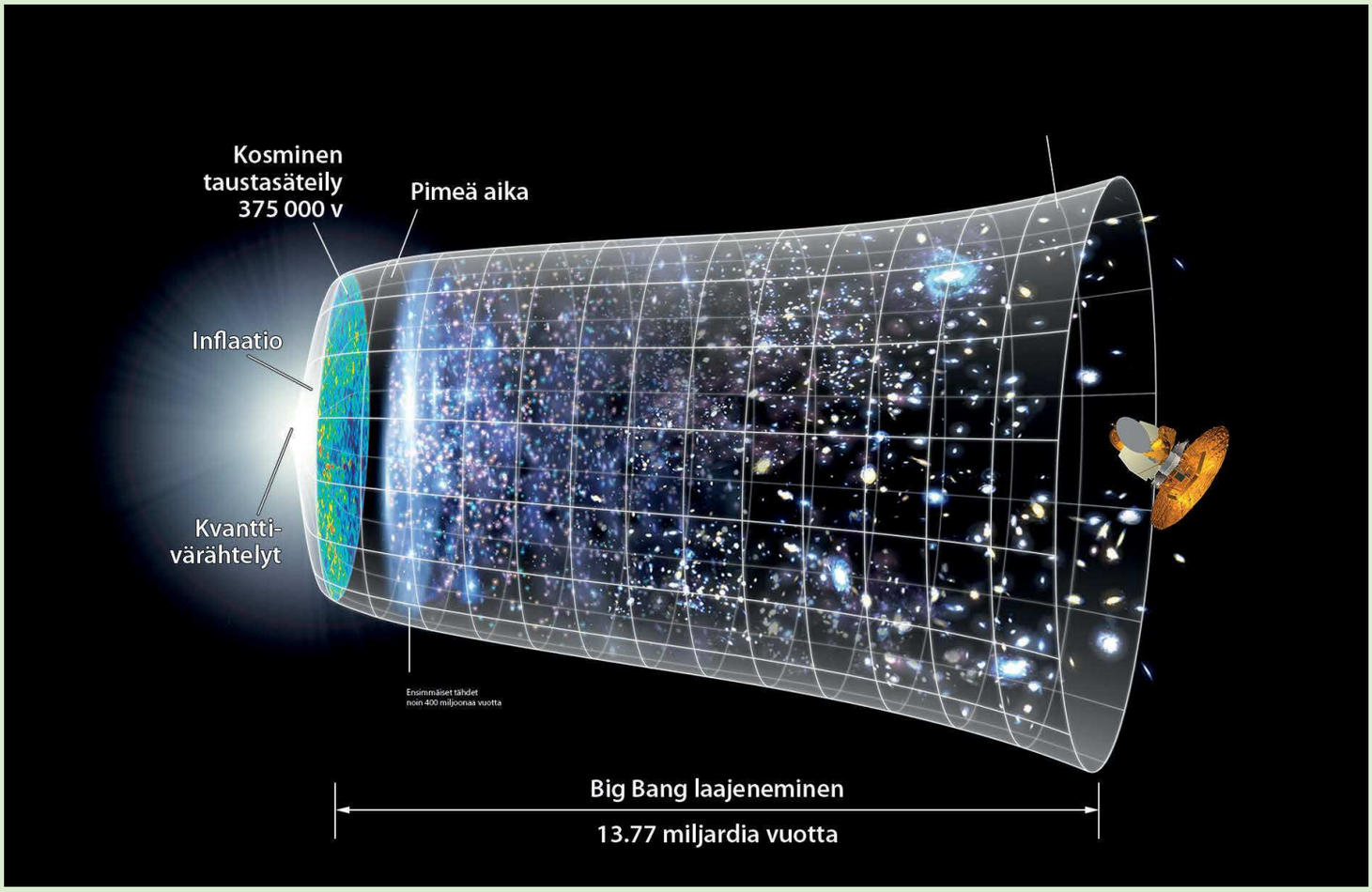
1. Suunnittele koesarja, jossa valmistat seuraavat liuokset:
2. 250 ml vesiliuosta, jossa on 20 *m*-% sokeria.
3. 100 ml liuosta, jossa sekoitat veteen 10 til-% etanolia.
4. Ota kohdan 1 liuosta ja laimenna sitä niin, että saat 50 ml liuosta, joka sisältää 5 *m*-% sokeria.

3 Maailmankaikkeus

! Luvun sisällys

- **Alkuaineiden synty**
- **Alkuaineet muilla planeetoilla**
- **Raskasmetallit**

Kuva maailmankaikkeuden kehityksestä 13,77 miljardin vuoden aikana. Vasen reuna kuvastaa aikaisinta vaihetta, jota voimme tutkia. Tämän ”inflaation” aikana maailmankaikkeus laajeni räjähdysmäisesti. Seuraavien vuosimiljardien aikana laajeneminen hidastui, koska maailmankaikkeuden aineen vetovoima veti sitä puoleensa. Laajeneminen on alkanut kiihtyä, koska pimeän energian hylkimisvoimat vahvistuvat. Kosminen taustasäteily syntyi noin 375 000 vuotta inflaation jälkeen ja näkyy edelleen esimerkiksi WMAP-luotaimelle. Tämä säteily on säilynyt lähes muuttumattomana, ja sen avulla voidaan päätellä maailmankaikkeuden varhaisista ajoista sekä sen myöhemmästä kehityksestä.



→ Osaat jo…

- erottaa toisistaan puhtaat aineet ja seokset.
- Tiedät, miten erilaisia liuoksia valmistetaan.
- Osaat myös erottaa erilaisten seosten komponentteja toisistaan.

↓ Opiskelet nyt…

- miten maailmankaikkeuden ja maailman aineet ovat syntyneet.

Opiskelet myöhemmin… →

- millaisia aineita meidän maailmassamme on.
- Tutustut maapallon ja elämän aineisiin.
- Opit tietämään alkuaineiden rakenteesta, kemiallisista sidoksista ja niiden vaikutuksista aineiden käyttäytymiseen.

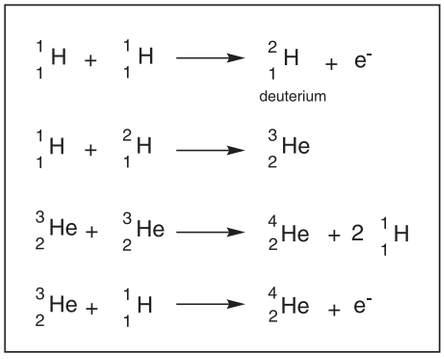
10^{27} on luku, jossa on ykkönen ja 27 nollaa:
1 000 000 000 000 000 000 000 000 000

Miljardi on 10^9 eli luku, jossa on 9 nollaa:
1 000 000 000

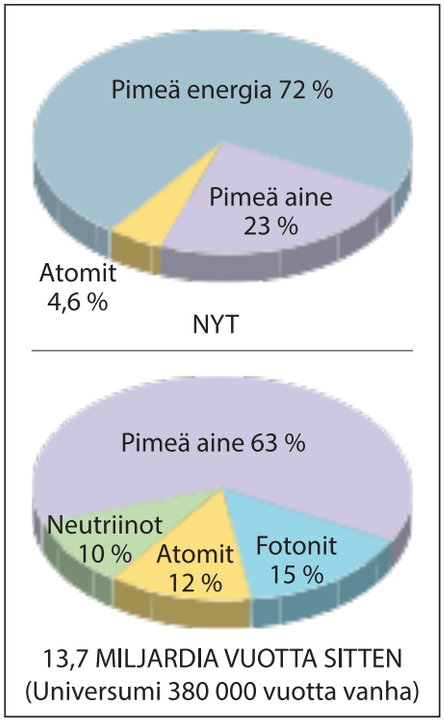
Alkuaineiden synty

Noin neljätoista miljardia vuotta sitten alkuräjähdyksessä vapautui niin paljon energiaa, että lämpötila nousi noin 10^{27} asteeseen. Hyvin pian maailmankaikkeus jäähtyi ”vain” miljardeihin asteisiin, jolloin alkeishiukkaset saattoivat yhdistyä ja ensimmäiset vetyatomit syntyivät. Riittävän korkeassa lämpötilassa vetyatomit pystyivät reagoimaan keskenään, jolloin kahdesta vetyatomista syntyi deuteriumia. Vedyn ja deuteriumin yhdistyessä syntyi puolestaan heliumia. Vety ja helium ovat syntyneet siis alkuräjähdyksen yhteydessä.

Lämpötila laski edelleen, ja heliumista syntyi hiiltä, happea ja typpeä. Hapen fuusiossa suurissa tähdissä syntyi pääasiassa piitä ja rikkiä. Riittävän suurimassainen tähti luhistui edelleen ja sen ytimen lämpötila nousi noin 3 miljardiin asteeseen, jolloin pii reagoi muodostaen kalsiumia. Kalsium reagoi titaanin ja kromin kautta raudaksi. Näistä rauta on pysyvin alkuaine, ja siksi sitä on suhteellisen paljon maapallon kokonaismassasta.



Auringossa tapahtuu jatkuvasti sama fuusioreaktio kuin alkuräjähdyksessä. Pienten ytimien yhdistyminen tuottaa valtavasti energiaa.



Universumin alkuaineet eri aikoina.

Hubble-avaruusteleskoopin kuva laajenevasta kaasu- ja sumupilvestä, joka muodostaa planeettanebulan NGC 2818. Planeettanebula muodostuu tähden ulommista kerroksista, kun tähdeltä loppuu polttoaine, joka on ylläpitänyt ytimen ydinreaktioita. Värit kertovat, että typpi (punainen), vety (vihreä) ja happi (sininen) hehkuvat ympäröivässä tähtienvälisessä aineessa. NGC 2818 sijaitsee Pyxis-tähtikuviossa ja noin 10 400 valovuoden päässä Maasta. Kuvan ala on halkaisijaltaan noin 6,5 valovuotta. Kuva on vuodelta 2008.

Alkuaineet muilla planeetoilla

Kaukaisten tähtien alkuainekoostumuksesta voimme tietää niiden lähettämän säteilyn perusteella, mutta näin muodostetut arviot ovat kuitenkin vain hyvin karkeita. Aurinkokuntamme lähimpien planeettojen koostumuksesta tiedämme hieman enemmän avaruusluotainten tekemien mittausten avulla. Aurinkokuntamme neljä sisintä planeettaa ovat maapallon kaltaisia kiviplaneettoja, joiden kuori koostuu pitkälti samankaltaisista aineista. Näiden planeettojen ydin on pääasiassa rautaa.

Planeettojen kaasukehät sen sijaan poikkeavat merkittävästi toisistaan. Merkuriuksen kaasukehän paine on hyvin alhainen, eikä sillä olekaan varsinaista kaasukehää. Merkuriusta ympäröivässä kaasukehässä on pääasiassa aurinkotuulten mukanaan tuomaa vetyä ja heliumia sekä kuorikerroksista vapautunutta happea ja natriumia. Venuksen ja Marsin kaasukehät ovat hyvin samankaltaiset: kummankin pääkomponentti on hiilidioksidi (noin 96 %), typpeä on vain muutama prosentti ja hapen osuus on alle yhden prosentin.

? Pohdi

Vertaa hiilidioksidin, typen ja hapen suhteellisia määriä Maassa, Venuksessa ja Marsissa. Mitä elämän kannalta merkittäviä johtopäätöksiä voit tehdä tästä?

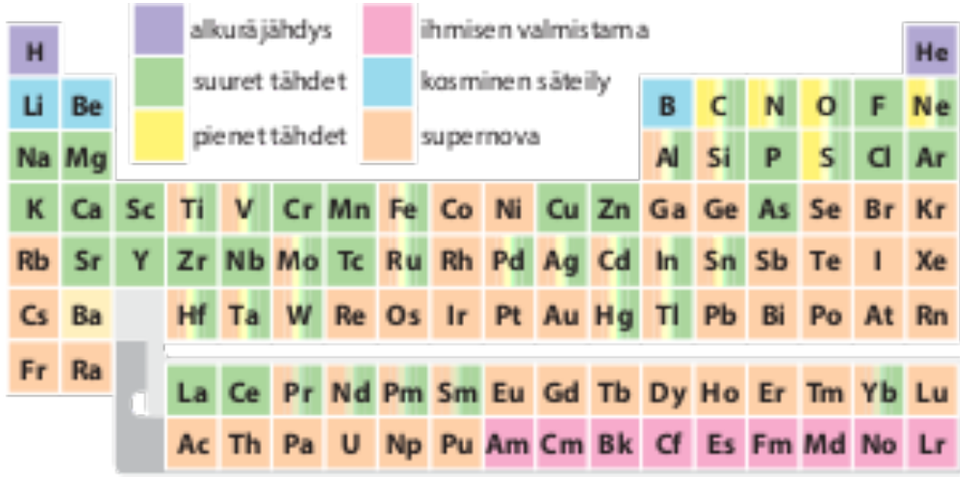
? Pohdi

Marsin ulkopuolella olevat planeetat ovat paljon suurikokoisempia kuin sisemmät neljä kiviplaneettaa. Jupiter ja Saturnus ovat kaasujättiläisiä ja Uranus ja Neptunus jääjättiläisiä. Kaikkien niiden kaasukehät ovat samankaltaisia, ja koostuvat pääasiassa vedystä ja heliumista. Pohdi, miksi niillä on niin erilainen kaasukehä kuin sisemmillä planeetoilla.

Raskasmetallit

Nukleosynteesissä eli **ydinsynteesissä** uusi atomi muodostuu nukleoneista eli protoneista ja neutroneista. Ensimmäiset ytimet, vety ja helium, syntyivät heti alkuräjähdyksen jälkeen. Nukleosynteesi tapahtuu pääasiassa tähdissä, joissa syntyvät kaikki heliumia raskaammat alkuaineet.

Kun tähdet vanhenevat, ja niiden **nukleosynteesi** on tuottanut jo rautaytimen, sitä seuraavat ydinreaktiot kuluttavat energiaa enemmän kuin reaktioissa vapautuu. Jos ytimen massa on riittävän suuri, ydin romahtaa kasaan ja syntyy neutronitähti tai musta aukko. Samalla syntyy supernova ja vapautuu valtava määrä korkeaenergisiä neutriinoja, jotka hajottavat atomiytimiä. Syntyvät neutronit yhtyvät uudelleen raskaampien alkuaineiden ytimien kanssa, ja näin voi syntyä rautaa raskaampia alkuaineita. Supernovien räjähdysten lisäksi punaisten jättiläisten uskotaan olevan rautaa raskaampien alkuaineiden syntysijoja.



Jaksollinen järjestelmä, joka osoittaa kunkin alkuaineen kosmogeenisen alkuperän. Alkuaineet hiilestä rikkiin voivat syntyä pienissä tähdissä. Rautaa suuremmat alkuaineet syntyvät suurissa tähdissä. Ne voivat syntyä myös supernovissa.

Ilmakuva CERNi:stä ja sen hiukkaskiihdyttimstä

Transmutaatio

Vain noin 300 tunnetusta 3600 isotoopista esiintyy luonnossa. Loput ihminen on valmistanut **ytimien transmutaatiolla**, jossa yksi atomiydin muutetaan toiseksi. Tämä saadaan aikaan pommittamalla atomia jollain hyvin korkeaenergisellä partikkelilla, kuten protonilla, neutronilla tai α-partikkelilla (He-atomi). Ensimmäisen tällaisen synteettisen atomin valmisti vuonna 1917 Ernest Rutherford, joka pommitti α-partikkelilla typpiatomia N ja sai aikaiseksi happiatomin O.

$$\underset{\text{typpi}}{{}^{14}_{7}\mathrm{N}} + {}^{4}_{2}\mathrm{He} \longrightarrow \underset{\text{happi}}{{}^{17}_{8}\mathrm{O}} + {}^{1}_{1}\mathrm{H}$$

Kun olet opiskellut kappaleen 8 Jaksollinen järjestelmä, palaa takaisin tähän kuvaan ja vastaa perustellen, onko Rutherfordin valmistama happiatomi hapen pääisotooppi.

HARJOITUSTEHTÄVÄT

Sy Syventävät

21. Transmutaatiolla on valmistettu kaikki alkuaineet, jotka ovat atomiluvultaan suurempia kuin 92. Mikä alkuaine tämä on?

22. Ota selvää, mitä tarkoittavat seuraavat käsitteet: deuterium, neutriino, α-partikkeli, supernova ja hiukkaskiihdytin.

Th Tiedonhankintatehtävät

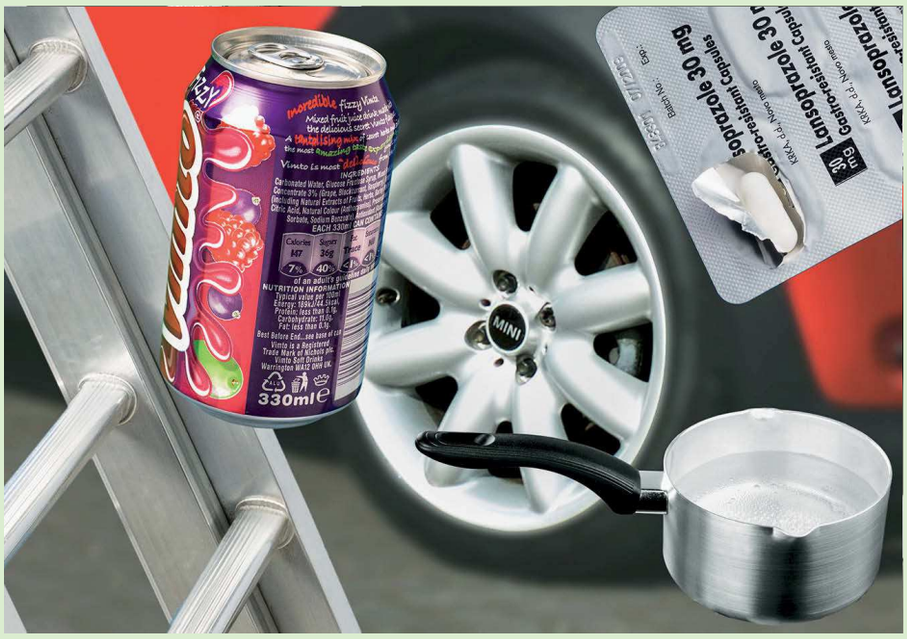
T4 Ottakaa ryhmissä selvää yhdestä seuraavista aihepiireistä:
- **a.** Marie ja Pierre Curie ja radioaktiivisuus
- **b.** Hiukkaskiihdyttimen toiminta
- **c.** Glenn T. Seaborg ja synteettiset alkuaineet.

4 Maapallon aineet

! Luvun sisällys

- **Maapallon kivilajit**
- **Maapallon alkuaineet ja yhdisteet**

Kvartsikiteitä



Alumiinista valmistetaan paljon jokapäiväisessä elämässä käytettyjä esineitä.

Kaivosporien terät on päällystetty timanteilla, maailman kovimmalla aineella.

→ Osaat jo…

- luokitella aineet puhtaisiin aineisiin ja seoksiin.
- Olet edellisessä luvussa oppinut, miten alkuaineet ovat syntyneet maailmankaikkeudessa.

↓ Opiskelet nyt…

- miten maankuori on rakentunut erilaisista mineraaleista, jotka sisältävät metalleja.
- Opit tärkeimpien käyttömetallien alkuperän, valmistusmenetelmiä ja käyttökohteita.

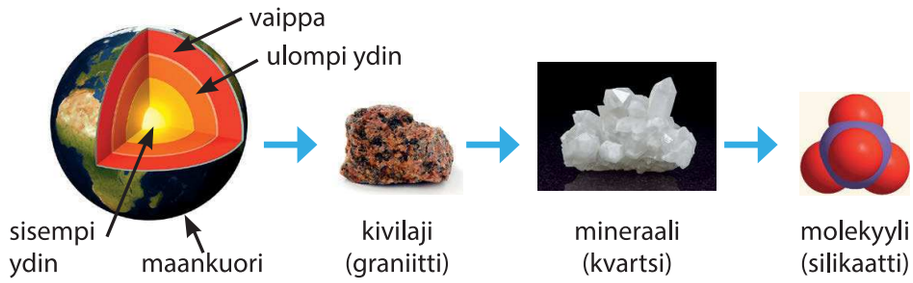
Opiskelet myöhemmin… →

- Seuraavassa luvussa opit elämälle tärkeistä alkuaineista.
- Kirjan muissa luvuissa tutustut aineen rakenteeseen ja kemiallisiin sidoksiin.

Maapallon kivilajit

Suomalaista pallograniittia

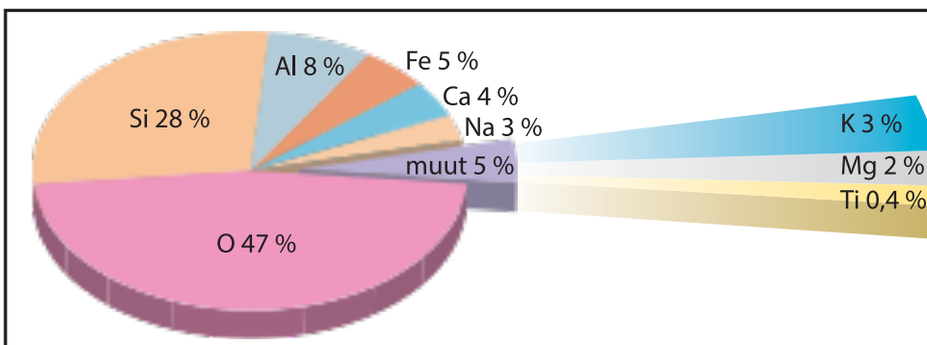
Maapalloa peittää suhteellisen ohut, enimmilläänkin vain 75 kilometrin paksuinen maankuori. Suurin osa siitä on veden peitossa, ja ohuimmat kohdat sijaitsevatkin merten syvänteissä, joissa kuori on vain muutaman kilometrin paksuinen. Pääasiassa kiveä oleva maankuori koostuu kallioperästä ja maaperästä. Kallioperään kuuluvat kivet ja kalliot, joista erilaiset silikaatit ja aluminaatit (piin ja alumiinin happiyhdisteet) muodostavat suurimman osan.



Maankuori koostuu kivilajeista, jotka ovat mineraalien seoksia. Molekyylit, atomit ja alkuaineet ovat mineraalien rakennusosia.

Gneissi

Yhdessä kivilajissa on tavallisesti 3–5 erilaista mineraalia. Esimerkiksi Suomen yleisin kivilaji graniitti, koostuu kvartsista, maasälvästä ja kiilteestä. Suomen toiseksi yleisin kivilaji on gneissi, jossa on myös kvartsia, maasälpää ja kiillettä, mutta eri suhteissa kuin graniitissa. Kvartsi on kemiallisesti piidioksidia, mutta muut mineraalit sisältävät piin ja alumiinin lisäksi eri metalleja, jotka antavat kullekin mineraalille tyypilliset ominaisuudet.



Maankuoren yleisimmät alkuaineet

Pyriitti (rikkikiisu, katinkulta) FeS_2, on yleisin sulfidimineraali.

!

Metalleista Na, K, Mg ja Ca ovat hyvin reaktiivisia ja esiintyvät luonnossa aina yhdisteinä. Esimerkiksi NaCl, KCl ja $MgCl_2$ tekevät merivedestä suolaista. Kalsiumia Ca esiintyy yleisesti kalsiumkarbonaattina, $CaCO_3$, sekä kalkkikivessä että korallien ja simpukoiden kuorissa. Lisäksi kalsiumia on hydroksiapatiittina $Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2$ selkärankaisten luustossa.

Hiekkakuoppa Kontiolahdella sisältää lähinnä kivennäisperäisiä maalajeja.

Mineraalit

Mineraaleiksi eli kivennäisiksi kutsutaan luonnossa kiinteässä muodossa esiintyviä alkuaineita tai niiden yhdisteitä. Mineraalilla on tietty koostumus ja yleensä säännöllinen kiderakenne. Mineraaleja tunnetaan kaikkiaan noin 3000–5000, mutta vain parisenkymmentä niistä muodostaa kivilajeja.

Kivissä on suurin osa maankuoren alkuaineista. Esimerkiksi kvartsi koostuu piistä (Si) ja hapesta (O). Piin ja hapen lisäksi alumiini (Al) kuuluu maankuoren yleisimpiin aineisiin, ja yhdessä nämä kolme muodostavat noin 75 % koko maankuoren alkuaineista. Rauta (Fe), kalsium (Ca), natrium (Na), kalium (K), magnesium (Mg) ja titaani (Ti) ovat tavallisimpia mineraaleissa esiintyviä alkuaineita, ja ne vastaavatkin lähes kaikesta lopusta maankuoren massasta.

Maaperä

Kallioperää peittää tavallisesti muutaman metrin tai enintään muutaman kymmenen metrin paksuinen irtomaakerros, maaperä. Tämä koostuu kivennäismaalajeista ja eloperäisistä maalajeista. Kivennäismaalajit ovat syntyneet kallioperästä rapautumalla, kun taas eloperäiset maalajit ovat syntyneet eläinten ja kasvien jäänteistä.

Kivennäismaalajeja ovat sora, moreeni, hiekka, hieta, hiesu ja savi. Ne eroavat toisistaan pääasiassa raekoon perusteella. Moreeni on näistä Suomen yleisin maalaji, mutta moreeni ei ole hyvää peltomaata liian kivisyytensä vuoksi.

Eloperäisiä maalajeja ovat lieju, muta, multa ja turve. Näistä multa sisältää eniten, jopa yli 20 %, eloperäistä ainesta, ja on siten parasta viljelysmaata. Multamaa on usein syntynyt, kun suomaata on otettu viljelyskäyttöön. Maata muokattaessa suon turve ja kivennäismaa ovat sekoittuneet, ja ajan myötä kasviperäisen aineksen määrä on lisääntynyt.

Kevätkylvö eteläsuomalaisella pellolla.

Joskus metalleja sisältävää kiveä löytyy aivan maan pinnasta. Kuvassa on avokaivos, jossa louhitaan rautamalmia.

Maapallon alkuaineet ja yhdisteet

Maapallolla esiintyy kaikkiaan noin 80 pysyvää alkuainetta, joista suurin osa on metalleja. Maapallon ytimestä suurin osa on rautaa ja nikkeliä, ja vaippa koostuu pääasiassa raudasta, piistä, magnesiumista, kalsiumista ja alumiinista. Näistä kerroksista ei kuitenkaan voida hyödyntää mineraaleja ja metalleja, koska syvimmät kaivokset ulottuvat vain neljän kilometrin syvyyteen. Käyttämämme aineet ovat siis saatavilla maankuoresta, jossa yleisintä metallia, rautaa, on 5 %.

Taulukko 3.1. Yleisimpien käyttömetallien tuotantomäärät maailmassa 2012 (US Geological Survey)

Metalli	Vuosituotanto miljoonaa tonnia	Päätuottajat
Fe	1 100	Kiina, Australia, Brasilia, Intia
Al	45	Australia, Brasilia, Kiina, Intia
Cu	17	Chile, USA, Indonesia, Peru
Mn	16	Etelä-Afrikka, (80 %), Ukraina, Australia, Intia, Kiina
Zn	13	Kiina, Australia, Peru
Cr	8	Etelä-Afrikka, Kazakstan, Intia, Venäjä, Turkki
Ti	7	Australia, Etelä-Afrikka, Kanada, Intia
Pb	5	Australia, Kiina, USA, Peru, Kanada, Meksiko, Ruotsi
Ni	2	Filippiinit, Indonesia, Venäjä, Australia, Kanada

Kaivostoiminta

Vanhimmat tunnetut kaivokset sijoitetaan noin 50 000, jopa 100 000 vuoden taakse Afrikkaan, jossa on louhittu ainakin rautaa tarve-esineiden ja työkalujen valmistukseen. Suomen vanhimmat kaivokset tunnetaan 1500-luvulta, jolloin maahamme perustettiin useita rauta- ja kuparikaivoksia. Kaivostoimintaa on ollut koko maassa, ja kaivoksia oli enimmillään viime vuosisadan alussa. Nykyisin toimivia kaivoksia on kymmenkunta, joista suurimmat ovat Kevitsan, Kemin ja Pyhäsalmen kaivokset. Kemin päätuote on kromi, kun taas muissa kaivoksissa tuotetaan pääasiassa kuparia, sinkkiä, nikkeliä ja jalometalleja. Suomen viimeinen rautakaivos suljettiin vuonna 1990.

!

Muu kaivostoiminta
Metallien lisäksi louhitaan muita mineraaleja, joista merkittävimpiä Suomessa ovat fosfaattipitoinen apatiitti Siilinjärveltä sekä useasta paikasta Etelä-Suomesta saatava kalkkikivi (kalsiitti), joka on rikas kalsiumin lähde.

Malmit

Malmit nimetään usein niiden sisältämän päämetallin mukaan (rautamalmi, sinkkimalmi). Kaivoksen tai avolouhoksen perustamisessa pitää ottaa huomioon taloudellisten tekijöiden lisäksi ympäristökysymykset, koska kaivos saattaa olla toiminnassa vuosikymmeniä, jopa vuosisatoja, jos esiintymä on riittävän rikas.

Malmi
Malmi on kallioperän mineraaliesiintymä, josta voidaan taloudellisesti kannattavasti louhia raaka-ainetta joko kaivoksessa tai avolouhoksessa.

? Pohdi

Mitä käyttöjä keksit kalkkikivelle ja fosfaatille?

Teollisesti hyödynnettävistä metalleista rauta on ylivoimaisesti tärkein: sitä tuotetaan vuosittain enemmän kuin muita metalleja yhteensä. Muita teollisesti tärkeitä metalleja ovat alumiini, kupari, mangaani, sinkki, kromi, titaani, lyijy ja nikkeli.

Hematiitti eli verikivi, Fe_2O_3

Rauta Fe

Vaikka rauta on maankuoren toiseksi yleisin metalli, ja sitä esiintyy lähes kaikissa kivilajeissa, sen valmistukseen yleensä valitaan sellainen malmi, jonka rautapitoisuus on vähintään 30 %. Suurin osa maankuoren raudasta esiintyy malmeissa hematiitti (Fe_2O_3) ja magnetiitti (Fe_3O_4).

Raudan ja teräksen tärkeimmät käyttökohteet ovat koneiden ja kulkuneuvojen valmistus sekä rakennusten tukirakenteet. Rauta ruostuu hyvin helposti, ja sen vuoksi rauta- ja teräsrakenteet on suojattava ruostumiselta maalaamalla, seostamalla tai pinnoittamalle ne esimerkiksi sinkillä galvanoimalla.

Raudan valmistus

Rautaa valmistetaan masuunissa, jossa rautamalmirikasteeseen lisätään koksia (hiiltä) ja kalkkikiveä. Seos kuumennetaan noin 1500 °C:n lämpötilaan. Hiili pelkistää rautaoksidin, ja reaktiossa syntyy samalla hiilidioksidia ja hiilimonoksidia. Raakarauta valuu masuunin pohjalle, josta se voidaan ottaa talteen. Korkean hiilipitoisuutensa vuoksi syntynyt raakarauta eli valurauta on kovaa mutta haurasta. Raakaraudan jatkojalostus tapahtuu valimossa. Hiilipitoisuutta vähennetään poistamalla hiiltä konvertterissa prosessilla, jota kutsutaan mellotukseksi. Näin syntyy terästä eli rautaa, jonka hiilipitoisuus on alle 1,7 %. Teräs on sitkeämpänä käyttökelpoisempaa kuin valurauta. Nykyisin yli puolet teräksestä valmistetaan kierrätetystä teräsromusta, jolloin voidaan välttää energiaa paljon kuluttavat masuuni- ja konvertterivaiheet.

Kuvassa samanpainoiset metallipylväät, vasemmalta: Al, Zn, Fe, pronssi, Cu ja Pb. Keveytensä vuoksi alumiini on erinomainen metalli esimerkiksi lentokone- ja autoteollisuudessa.

Alumiini Al

Alumiinin pääasiallinen lähde on bauksiitti Al_2O_3, josta alumiini erotetaan ja puhdistetaan monimutkaisella prosessilla. Prosessin viimeinen sähkökemiallinen vaihe kuluttaa merkittävästi energiaa. Yhdysvalloissa 5 % kaikesta tuotetusta sähköstä kuluu alumiinin valmistukseen. Alumiini on helposti kierrätettävissä, ja Euroopan autoteollisuus kierrättääkin lähes 95 % käyttämästään alumiinista.

Alumiinilla on hyvä lämmönjohtavuus, minkä takia sitä käytetään paljon jäähdytyslaitteissa.

Kuparilevyjen valmistusta

Kupari Cu

Kuparia esiintyy monissa malmeissa, etenkin kuparikiisussa ($CuFeS_2$) ja vähäisemmässä määrin kalkosiitissä eli kuparivälkkeessä (Cu_2S). Kuparikiisua louhitaan Suomessa Pyhäsalmella, Kylylahdella ja Kevitsassa.

Alumiinin tavoin kupari on kokonaan kierrätettävissä. Kupari on kolmanneksi eniten kierrätetty metalli raudan ja alumiinin jälkeen. Arvioidaankin, että peräti 80 % kaikesta koskaan tuotetusta kuparista on edelleen käytössä. Erinomaisen sähkönjohtavuutensa takia kuparin merkittävin käyttökohde on elektroniikkateollisuudessa.

? Pohdi

Miksi tärkeimpiä käyttömetalleja rautaa, alumiinia ja kuparia kannattaa kierrättää?

Teräksen ominaisuuksia voidaan parantaa lisäämällä siihen pieniä määriä muita metalleja, kuten Mn, Cr, Ni ja V.

Mangaani Mn

Mangaania käytetään pääasiassa raudan ja teräksen valmistuksessa. Mangaania seostetaan yli 8 %, jopa 15 % rautaan, jotta saadaan erityisen kestävää terästä. Mangaania käytetään myös seoksena alumiinin kanssa esimerkiksi juomatölkeissä.

Galvanointi estää raudan ruostumisen.

Sinkki Zn

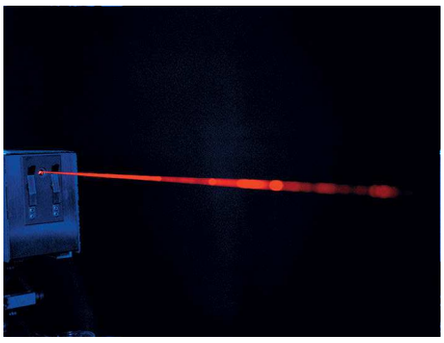
Sinkin pääasiallinen lähde ovat sulfidimineraalit, erityisesti sinkkivälke ZnS. Suomessa Pyhäsalmen ja Kylylahden kaivoksista saadaan sinkkiä.

Sinkkiä käytetään etenkin galvanoinnissa, jossa rauta pinnoitetaan sähkökemiallisesti sinkillä. Näin estetään raudan ruostuminen. Lisäksi sinkkiä käytetään myös akuissa ja pattereissa. Sinkin valmistus sulfidimineraaleista tuottaa suuria määriä rikkidioksidia ja kadmiumhöyryjä, jotka ovat aiheuttaneet huomattavia ympäristöhaittoja päästessään ympäristöön. Esimerkiksi eurooppalaisen Rein-joen veden sinkkipitoisuus on saatu lasketuksi hyväksyttävälle tasolle vasta merkittävien puhdistusohjelmien avulla. Sinkkiä käytetään myös metalliseoksissa, kuten messingissä ja uushopeassa. Messingin toinen nimi on vaski, josta saavat nimensä vaskisoittimet.

Sinkki ja kupari muodostivat ensimmäisen pariston, Voltan parin. Sinkkiä käytetään edelleen paristoissa.

? Pohdi

Miksi kaivosteollisuus aiheuttaa ympäristöhaittoja vesistöille?



Synteettistä rubiinia käytetään lasereissa.

Titaania käytetään alumiinin ohella lentokoneiden rakennusmateriaalina.

Lyijy parantaa lasin valontaittumisominaisuuksia. Siksi siitä valmistetaan kristallilasia.

Kromi Cr

Kromia käytetään pääasiassa ruostumattoman teräksen valmistuksessa. Kromikeltaista on käytetty väriaineena ja kuparikromiarseniittia käytetään puunsuoja-aineena. Kromiyhdisteitä käytetään myös nahan parkitsemisessa. Rubiinin punainen väri johtuu pienistä määristä kromia kiven alumiinioksidissa.

Titaani Ti

Titaania saadaan taloudellisesti eristetyksi pääasiassa rutiili- ja ilmeniittimineraaleista. Titaanin valmistus on monimutkainen prosessi, minkä vuoksi metallinen titaani on kallista.

Titaanioksidi on voimakkaasti valkoinen pigmentti, minkä vuoksi 95 % maaperästä saatavasta titaanista käytetään maaleissa, papereissa, hammastahnoissa ja muoveissa. Titaani on myös suhteellisen kevyt, mutta erityisesti kestävä ja sitkeä metalli, ja siksi sitä käytetään muun muassa lentokoneiden valmistuksessa. Esimerkiksi Boeing 474 -lentokoneeseen käytetään noin 45 tonnia titaania. Myös metsä- ja paperiteollisuuden koneissa käytetään titaania sen hyvän korroosionkestävyyden takia.

Lyijy Pb

Lyijyä käytetään edelleen paljon, vaikka se on myrkyllistä ja ympäristölle haitallista. Yli puolet kaikesta käytetystä lyijystä on akuissa. Lisäksi lasien ja emalien valmistuksessa käytetään lyijyn yhdisteitä. Vielä 1980-luvulla lyijyn orgaanista yhdistettä, tetraetyylilyijyä, käytettiin moottoribensiinin lisäaineena.

Nikkeli Ni

Venäjän jälkeen suurimmat eurooppalaiset nikkeliesiintymät ovat Suomessa ja Kreikassa. Suomessa nikkeliä on louhittu jo 1930-luvulta lähtien.

Nikkeli kestää hyvin syövyttäviä aineita, minkä vuoksi sitä käytetään eniten erilaisissa metalliseoksissa ruostumattoman teräksen valmistuksessa. Nikkeli aiheuttaa helposti kosketusallergioita, minkä vuoksi EU on rajoittanut sen käyttöä korujen valmistuksessa.

HARJOITUSTEHTÄVÄT

P Perustehtävät

23. Mihin ihminen tarvitsee metalleja?

24. Mitkä ovat metallinjalostuksen päävaiheet?

25. **a.** Miten valurauta eroaa teräksestä?
b. Miten teräksen ominaisuuksia voidaan parantaa?

26. Miten raudan ruostumista voidaan estää?

Sy Syventävät

27. Ota selvää, mikä vaikutus eri seosmetalleilla on teräksen ominaisuuksiin.

28. Jalokivi on kova, harvinainen ja luonnossa itsestään syntynyt mineraali. Jalokiveksi voidaan kutsua vain sellaista mineraalin jaloa muotoa, jonka kovuus on Mohsin asteikolla 1–10 vähintään 7.
a. Ota selvää, mitä muita ominaisuuksia jalokiviltä vaaditaan.
b. Ota lähempään tarkasteluun yksi jalokivilaji ja selvitä sen kemiallinen koostumus, alkuperä ja käyttökohteita.

So Soveltavat

29. Metallien kierrätys: valitse yksi metalli ja tee siitä elinkaarianalyysi.

30. Tutustu metalliteollisuuden toimintaan. Pohdi sen kannattavuutta Suomessa ja maailmanlaajuisesti.

31. Selvitä, mitkä aineet antavat värilliselle lasille niiden eri värit.

R Ryhmätehtävät

R7. Tutkikaa eri lähteistä Suomen kaivoksia ja niiden tuotteita. Selvittäkää kaivostoiminnan ympäristövaikutuksia.

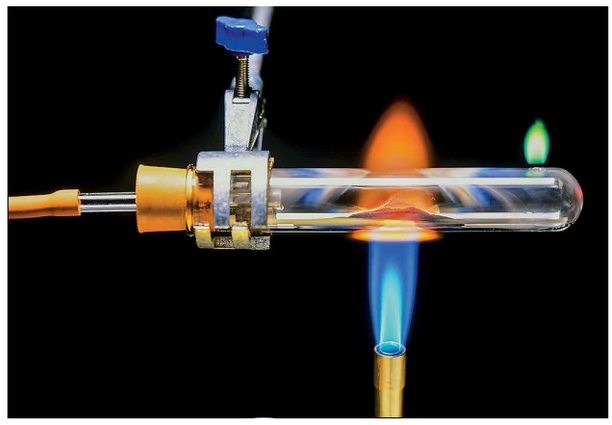
R8. Valitkaa yksi tämän kappaleen metalleista ja tehkää selvitys sen esiintymisestä, valmistuksesta ja käyttökohteista.

KOKEELLISUUS

T Työ 4 Kuparin pelkistäminen

Tarvikkeet:
- kaasupoltin
- statiivivarusteet
- kuumennuksen kestävä Pyrex-koeputki
- kuparioksidia CuO
- hiiltä C

Pelkistä kuparioksidista CuO kuparia Cu hiilen C avulla.
Tee muistiinpanot havainnoistasi ja kirjoita pelkistyksen reaktioyhtälö.

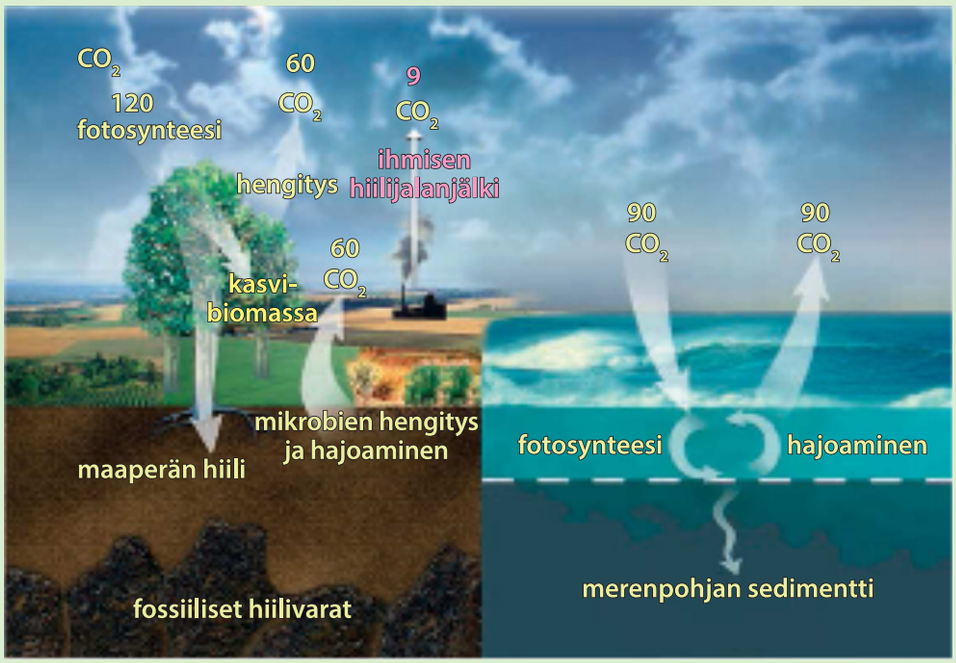


5 Elämän alkuaineet

! Luvun sisällys

- **Hiili on elämän alkuaine**
- **Luonnon polymeerit**
- **Fossiiliset raaka-aineet**
- **Uusiutuvat raaka-aineet**
- **Kasvihuoneilmiö**

Tulivuorenpurkauksissa vapautuvat kaasut ja pienhiukkaset aiheuttavat muutoksia ilmastossa jopa vuosiksi eteenpäin.
Kuvassa Mount St. Helen, joka purkautui Yhdysvaltain länsirannikolla 1980.



Maapallon hiili on jatkuvassa kierrossa. Luvut ilmaisevat hiilen vuosittaista kiertoa Gt hiiltä vuodessa.

Silkki on luonnon polymeeri, josta kehrätään lankaa.

→ Osaat jo…

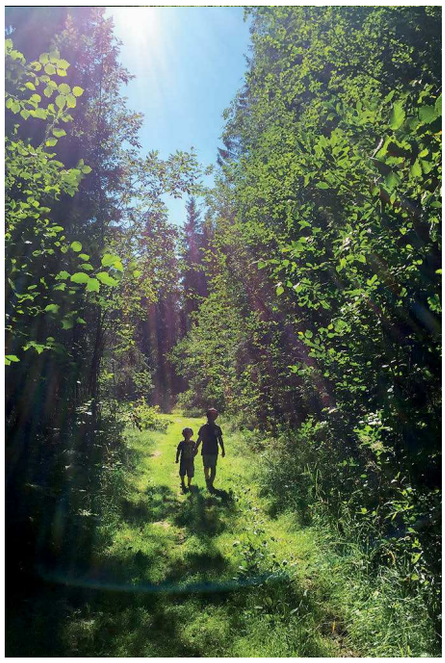
- selittää, miten alkuaineet ovat saaneet alkunsa ja miten maankuoremme on rakentunut epäorgaanisista yhdisteistä.

↓ Opiskelet nyt…

- elämän alkuaineista hiilestä, hapesta, typestä ja vedystä, sekä niiden kaikelle elolliselle luonnolle tärkeistä yhdisteistä.
- Perehdyt muutamiin tuotteisiin, joissa käytetään hiilen orgaanisia yhdisteitä.
- Opiskelet myös, miten ihmisen toiminta vaikuttaa luonnon tasapainoihin.

Opiskelet myöhemmin… →

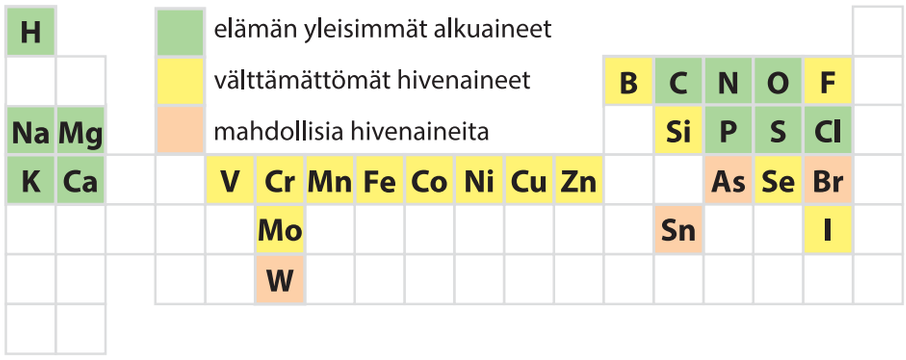
- kuinka jaksollinen järjestelmä rakentuu, ja miten alkuaineet muodostavat kemiallisia yhdisteitä muodostamalla sidoksia.
- Opit myös, miten erilaiset sidokset vaikuttavat kemiallisen yhdisteen ominaisuuksiin.



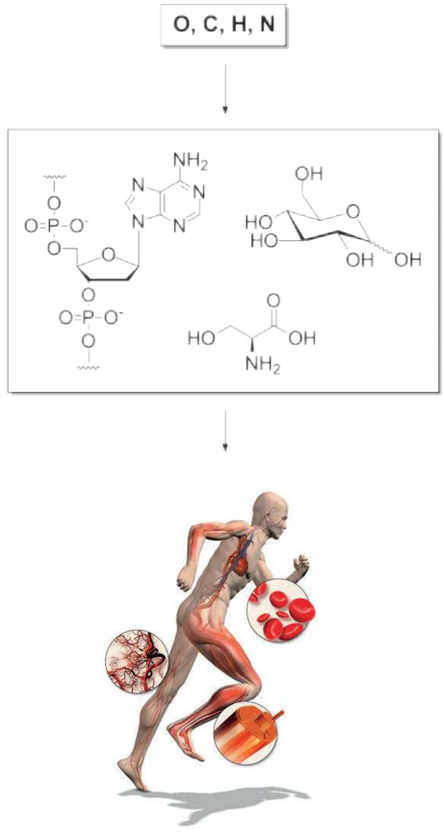
Hiilen yhdisteitä on kaikissa elävissä organismeissa.

Hiili on elämän alkuaine

Edellisessä luvussa tarkastelimme maankuoren epäorgaanisten alkuaineiden maailmaa. Hiiltä on maankuoressa hyvin pieniä määriä, vain noin yksi kymmenestuhannesosa maankuoren massasta. Kuitenkin hiilen yhdisteet ovat edellytys elolliselle elämälle: kasvien ja eläinten olemassaololle tärkeät hiilen yhdisteet muodostavat orgaanisen, eloperäisen, kemian perustan. Tässä luvussa tarkastelemme näiden orgaanisten yhdisteiden syntyä ja kiertoa, koska tämä herkkä tasapaino on edellytys elämän säilymiselle maapallolla. Kaikissa elollisissa, olipa kyse yksisoluisista organismeista tai kasveista, eläimistä tai ihmisistä, on hyvin monimutkaisia kemiallisia yhdisteitä. Nämä yhdisteet koostuvat yhteensä noin 25 alkuaineesta, joista neljä – **happi**, **hiili**, **vety** ja **typpi** – vastaavat noin 96 %:sta ihmiskehon massasta.



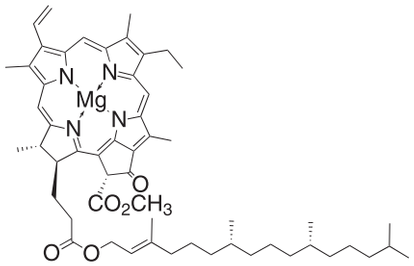
Elämän alkuaineet
Elämälle tärkeimmät alkuaineet ovat myös maankuoressa ja merivedessä yleisesti esiintyviä. On todennäköistä, että elämän synty on riippunut saatavilla olevista rakennusaineista.



Kaikki elämälle välttämättömät yhdisteet koostuvat vain muutamasta alkuaineesta.

Kaikkien elollisten olentojen monimutkaiset yhdisteet ovat syntyneet usean vaiheen kautta ympäristön yksinkertaisista rakennusaineista: typpikaasusta, hiilidioksidista ja vedestä. Näistä pienistä rakennusaineista syntyvät elämän suurimmat kemialliset yhdisteet, kuten entsyymit, RNA ja DNA.

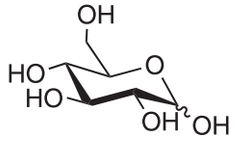
Hiilidioksidi on hiilen hapetustuotteista pysyvin, ja siksi se on yhdiste, joksi kaikki hiiliyhdisteet palaessaan päätyvät. Elävän luonnon kannalta keskeistä oli muutama miljardi vuotta sitten elollisten, itseään kopioivien yhdisteiden syntyminen. Tässä keskeisenä vauhdittajana oli yhteyttävien kasvien kyky käyttää auringonvaloa pelkistämään erilaisia hiiliyhdisteitä, jotta niitä voidaan käyttää uudelleen elämälle välttämättömien yhdisteiden valmistukseen.



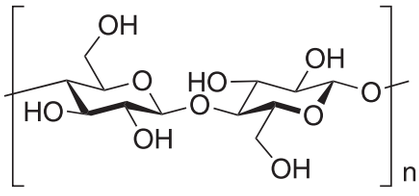
Klorofylli on orgaaninen molekyyli, joka on pääasiallinen auringon valoenergian sitoja viherhiukkasessa.

α-pineeni on terpeeni, joka muodostaa valtaosan mäntyöljystä. Siitä valmistetaan esimerkiksi tärpättiä.

Kuvan Madagaskarin talvio tuottaa katarantiinialkaloidia, jota käytetään syöpälääkkeenä.



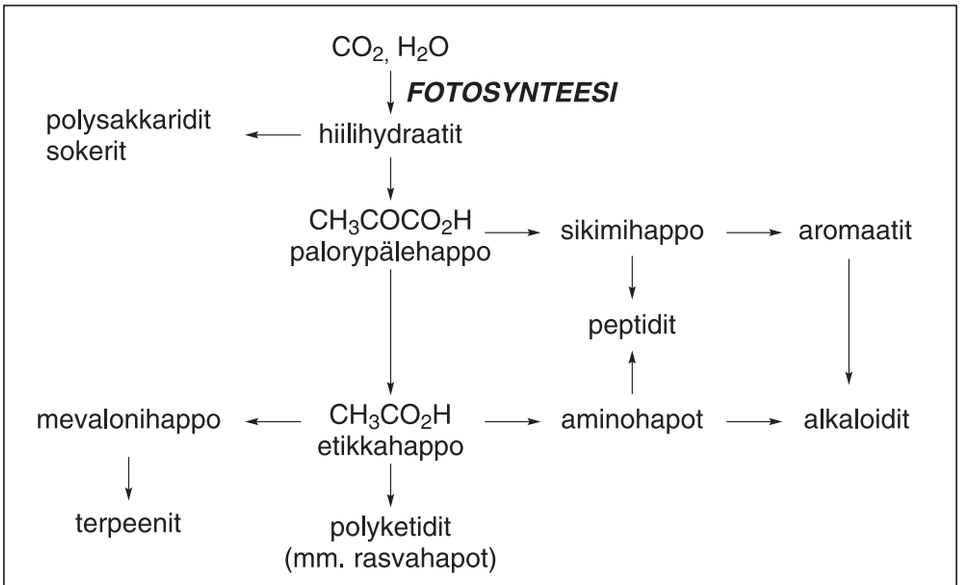
Glukoosi on yleisin hiilihydraatti.



Tärkkelys, gykogeeni ja selluloosa (kuvassa) ovat kaikki rakentuneet yksittäisistä sokerimolekyyleistä, glukoosista.

Fotosynteesi

Yhteyttävät kasvit käyttävät hiiliravintonaan ilmakehän hiilidioksidia ja energialähteenään auringonvaloa. Tätä prosessia kutsutaan **fotosynteesi**ksi. Yhteyttävän kasvin viherhiukkasessa eri entsyymit liittävät hiilidioksidi- ja vesimolekyylejä toisiinsa siten, että syntyy hiilihydraatteja. Yksinkertaisten hiilihydraattien hajoamistuotteina syntyy palorypälehappoa. Palorypälehaposta puolestaan syntyy etikkahappoa. Näistä kahdesta syntyvät käytännössä kaikki luonnossa esiintyvät orgaaniset yhdisteet.



Fotosynteesi tuottaa välituotteet kaikille muille elävässä luonnossa esiintyville yhdisteille.

Luonnon polymeerit

Fotosynteesin tuloksena hiilidioksidista ja vedestä syntyy glukoosia. Entsyymit muuntavat glukoosin edelleen muiksi **hiilihydraateiksi**, joista kasvien polymeerit pääasiassa muodostuvat. Yksittäiset hiilihydraattimolekyylit liittyvät toisiinsa, jolloin ne muodostavat pitkiä polysakkarideja. Tärkkelys ja selluloosa ovat näistä tärkeimmät. Tärkkelys on kasvien varastohiilihydraatti, ja siinä saattaa olla 100–5 000 glukoosiyksikköä. Tärkkelys on esimerkiksi perunan ja viljan pääosa. Eläinten vararavinto on glykogeenin muodossa, joka on kooltaan vielä suurempaa kuin tärkkelys.

Selluloosa on viherkasvien ja useiden levien soluseinän osa. Se on yleisin luonnonpolymeeri, ja sitä on paljon puumassassa, puuvillassa sekä oljissa. Selluloosassa on tyypillisesti 2 000–3 000 glukoosiyksikköä. Puun selluloosapitoisuus voi olla yli 40 % ja puuvillan jopa 90 %. Vaikka puun selluloosasta suurin osa käytetään paperin valmistukseen, voidaan siitä valmistaa kemiallisella käsittelyllä myös kankaissa käytettyjä keinokuituja, kuten viskoosia, modaalia ja lyocelliä eli tenceliä sekä sellofaania.

Viskoosi tunnettiin alun perin nimellä rayon. Kuva on tehtaasta, jossa viskoosikuidusta valmistettiin kangasta vaatetusteollisuuden tarpeisiin 1950-luvulla.

Useimmat eläimet, ihminen mukaan lukien, eivät pysty pilkkomaan selluloosaa, vaan se menee muuttumattomana kuituna ruoansulatuselimistön läpi. Joillakin eläimillä mikrobit hoitavat selluloosan pilkkomisen. Esimerkiksi märehtijöiden pötsin bakteerit tuottavat entsyymejä, jotka pystyvät pilkkomaan selluloosan. Myös puuta syövien termiittien ruoansulatuselimistössä elää erilaisia selluloosaa pilkkovia mikrobeja.

Proteiinit muodostuvat aminohapoista

Aminohapoissa solut ottavat käyttöön typen, joka saadaan pääsääntöisesti maaperästä. Kehittyneemmät eläimet eivät pysty käyttämään maaperän typpiyhdisteitä ravinteina. Ne hyödyntävät kasvien ja bakteerien sisältämiä proteiineja typpilähteenä. Vaikka elimistömme pystyy muuntamaan useita aminohappoja toisiksi aminohapoiksi, yhdeksää niistä on saatava sellaisenaan ravinnosta.

Välttämättömät aminohapot
Katso taulukkokirjasta rakenteet:
- histidiini
- isoleusiini
- leusiini
- lysiini
- metioniini
- fenyylialaniini
- treoniini
- tryptofaani
- valiini

Typen kierto luonnossa
Bakteerit muuntavat ilmakehän typen kasviproteiineiksi (1). Eläinproteiineja muodostuu, kun eläimet käyttävät kasveja ja toisia eläimiä ravintona (2). Eläinten ja kasvien mätäneminen tuottaa ammoniakkia (3). Monimutkaisilla prosesseilla bakteerit muuntavat ammoniakin nitriiteiksi ja nitraateiksi (4) ja edelleen ilmakehän typeksi (6). Kasvit muuntavat nitraatteja kasviproteiineiksi (5). Salamointi muuntaa osan ilmakehän typestä nitraateiksi (1a).

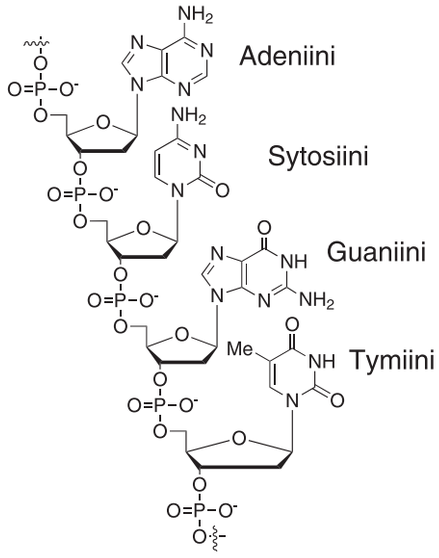
? Pohdi

Mistä ravinnonlähteistä saat välttämättömiä aminohappoja?

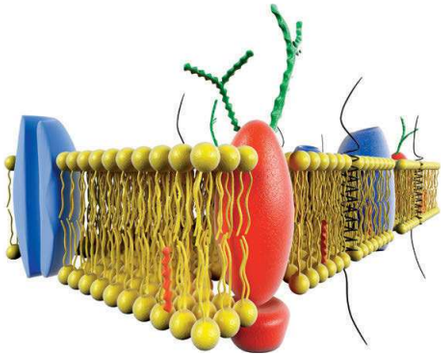
Silkki on hyvin kiiltävää ja arvostettua kuitua kankaiden valmistuksessa.

Aminohapot ovat tärkeitä erityisesti proteiinien valmistuksessa. Entsyymit ja hermojärjestelmän toiminnan kannalta välttämättömät isokokoiset yhdisteet ovat useasta kymmenestä ja jopa useasta sadasta aminohaposta koostuneita suurikokoisia rakenteita.

Aminohapoista syntyy myös kuitumaisia polymeerejä, kuten silkin fibroiini. Silkkiäisperhosen lisäksi monet muut toukat ja hämähäkit tuottavat kuitumaisia proteiineja.



Pätkä DNA-juostetta, jossa näkyvät kaikki mahdolliset emäkset. DNA:n rakenteeseen palaamme kappaleessa 14 ja tarkemmin LUKION KEMIA 2 kirjassa.



Taiteilijan näkemys solukalvon rakenteesta. Pitkät lipidimolekyylit lipidikaksoiskerroksessa on piirretty keltaisella.

Antrasiittipitoista kivihiiltä.
Maailman suurin kivihiilen tuottaja on Kiina. Suuria kivihiiliesiintymiä on myös Yhdysvaltain itärannikolla ja Intiassa.
Myös EU on merkittävä kivihiilen tuottaja-alue.

DNA ja RNA

Kaikkien aitotumallisten eliöiden perimän sisältävä **DNA** (engl. **D**eoxyribo **N**ucleic **A**cid) ja perimätietoa proteiininvalmistukseen siirtävät **RNA**t (engl **R**ibo **N**ucleic **A**cid) ovat myös luonnon polymeerejä. Molempien rakenteen muodostaa yhdestä hiilihydraatista, fosfaatista ja aromaattisesta orgaanisesta emäsmolekyylistä koostuva yksikkö, nukleotidi, joka monistuu lukemattomia kertoja. Hiilihydraatti ja fosfaatti muodostavat DNA:n ja RNA:n rakenteen selkärangan, johon sitoutuu yksi neljästä mahdollisesta orgaanisesta emäksestä.

Rasvat ja lipidit

Lipidi on yleisnimi luonnossa esiintyville yhdisteille, jotka ovat niukkaliukoisia veteen, mutta liukenevat hyvin orgaanisiin liuottimiin. Lipideihin kuuluvat muun muassa rasvat, vahat sekä monet rasvaliukoiset vitamiinit ja hormonit. Etikkahaposta syntyy myös pitkäketjusia orgaanisia happoja, rasvahappoja, jotka reagoivat alkoholien kanssa. Näin syntyy joukko erilaisia lipidejä, jotka ovat tärkeitä solukalvojen rakennusosia.

Fossiiliset raaka-aineet

Monimutkainen hiilihydraattipolymeeri selluloosa on kasvien pääasiallinen rakennusosa. Kun kasvimateriaali hajoaa bakteerien vaikutuksesta hapettomissa olosuhteissa, happi- ja vetyatomit hiljalleen poistuvat selluloosamolekyylistä, ja hiilen suhteellinen osuus lisääntyy.

biomassa	→	turve	→	ruskohiili (25–35 %)	→	kivihiili (60–80 %)	→	antrasiitti (92–98 %)

Kivihiilen synty

Antrasiitin syntyminen on hidas prosessi, joka on kestänyt jopa 300 miljoonaa vuotta. Kivihiili on palavaa orgaanista kiveä, joka koostuu hiilestä, vedystä ja hapesta sekä pienistä määristä typpeä, rikkiä ja tuhkan mineraaleja. Korkeamman hiilipitoisuuden vuoksi antrasiitti on energianlähteenä puhtaampaa kuin esimerkiksi turve.

Pohjanmeren alla on rikkaita öljyesiintymiä. Tärkeimpiä raakaöljyn tuottajia ovat kuitenkin Lähi-idän maat, Venäjä, Yhdysvallat ja Kiina.

Maaöljy ja maakaasu

Maaöljy ja maakaasu syntyvät eri tavalla. Vanhoissa merissä elävien eläinten ja kasvien jäänteet vajosivat merenpohjaan, jossa bakteerit hajottivat ne, ja jäänteet hautautuivat mutaan ja hiekkaan. Paineen yhä kasvaessa mudasta ja hiekasta tuli hiekkakiveä, ja maatuneet orgaaniset jäänteet muuttuivat maaöljyksi ja -kaasuksi. Näiden synty on kestänyt 250–500 miljoonaa vuotta.

Tyypillisessä maakaasussa on 85 % metaania (CH_4), kun taas tyypillisessä maaöljyssä on molekyylejä kooltaan yhdestä hiilestä (metaani) aina yhdisteisiin, joissa on yli 40 hiiliatomia. Maaöljy ja etenkin maakaasu ovat hyviä energialähteitä, ja siksi niiden jalostus ja käyttö on niin merkittävää. Maaöljystä saatavien orgaanisten yhdisteiden kemiaan paneudutaan LUKION KEMIA 2:n kirjassa.

? Pohdi

Pohdi oheisen taulukon 5.1 perusteella biomassan (kaupunkijäte, puu, alkoholit) ja fossiilisten energialähteiden hyviä ja huonoja puolia.

Uusiutuvat raaka-aineet

Kasvimateriaalin muuntuminen fossiilisiksi polttoaineiksi on geologinen prosessi ja kestää miljoonia vuosia. Periaatteessa kaikki nykyisin fossiilisista lähteistä saatavat aineet voidaan valmistaa suoraan selluloosasta ja kasvimateriaalista. Metanolia (puuspriitä) saadaan tislaamalla puuta hajottavasti (pyrolysoimalla). Selluloosa voidaan pilkkoa glukoosiksi ja käyttää sitten etanoliksi. Käymisprosesseilla voidaan tuottaa myös muita hapettuneita yhdisteitä (alkoholeja, ketoneita ja happoja), joista voidaan edelleen valmistaa hiilivetyjä.

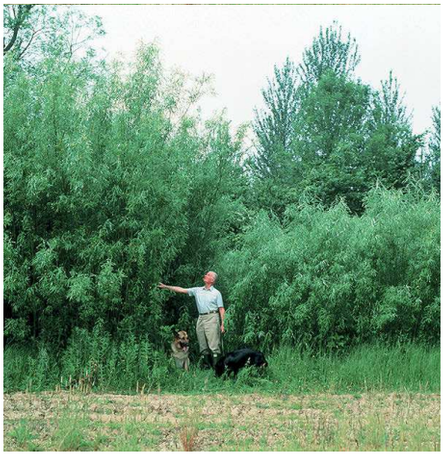
Taulukko 5.1. Eri polttoaineiden lämpöarvoja ja hiilidioksidikuormituksia

Polttoaine	kJ/g	gCO_2/MJ
Kaupunkijäte	– 12,7	
Selluloosa	– 17,5	
Mäntypuu	– 21,2	115
Metanoli	– 22,7	
Turve	– 20,8	106
Kivihiili	– 28,3	94,6
Iso-oktaani	– 47,8	73
Maakaasu	– 49,5	56,1

Biomassa

Biomassaksi kutsutaan kaikkea eloperäistä ainetta. Biomassan tärkein yksittäinen osa on fotosynteesin kautta syntynyt orgaaninen aine eli pääasiassa kasvit ja niiden sisältämät hiilihydraatit. Kasvibiomassaa voidaan käyttää sinällään energialähteenä, tai se voidaan muuntaa kaasumaiseksi, nestemäiseksi tai kiinteäksi polttoaineeksi tai kemiallisiksi raaka-aineiksi.

Suomessa kerätään paljon turvetta energiantuotantoon.



Erityisesti nopeakasvuista pajua viljellään energiapuuksi.

Hampurilaisravintoloiden käytöstä poistettu rasva voidaan muuttaa biodieseliksi. Näin voidaan vähentää puhtaasti energiakäyttöön viljeltyjen öljykasvien viljelypinta-alaa.

Käyttö energian tuotannossa

Yleisin ja vanhin biomassan energiakäyttö on puun polttaminen. Metsäteollisuuden puunkäytön ja tuotannon yhteydessä syntyy energiajakeita, joista merkittävimmät ovat sellunkeiton sivutuote mustalipeä, puunkuori ja sahanpuru. Näitä on jo pitkään hyödynnetty energialähteinä, valtaosin teollisuuden omissa voimalaitoksissa ja lämpökattiloissa tuottamaan sähköä, prosessihöyryä ja lämpöä. Näiden lisäksi metsästä saadaan energiakäyttöön metsähaketta, jota tuotetaan pääosin päätehakkuiden sivutuotteista eli latvuksista, oksista ja kannoista sekä metsänhoidollisten harvennushakkuiden pienpuusta. Puun perinteisin energiakäyttö on kotitalouksien ja muiden kiinteistöjen lämmityksen pienkäyttöä. Myös kierrätyspuu on merkittävä energiajae.

Turve katsotaan osittain uusiutuvaksi polttoaineeksi, vaikka sen uusiutuminen viekin tuhansia vuosia. Turvetta kuitenkin käytetään teollisessa mittakaavassa energiantuotantoon erityisesti Pohjoismaissa.

Biomassan jatkojalostus

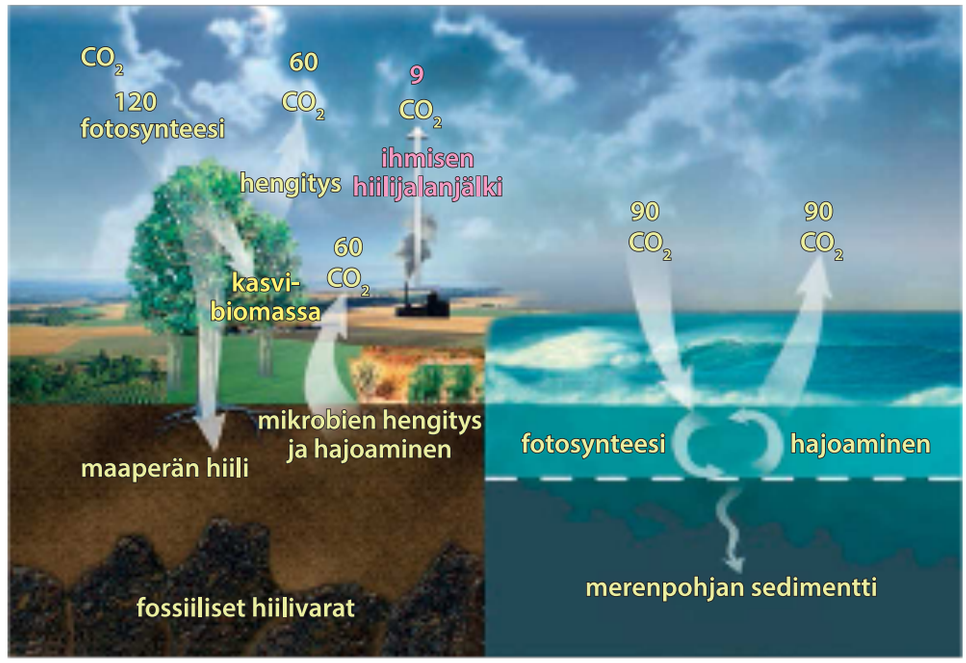
Viljankorjuun jälkeen pelloille jäävää kasvimateriaalia eli olkea ei saa enää polttaa. Osa oljesta kynnetään peltoon, jotta siinä olevat ravinteet jatkaisivat kiertoa seuraavan vuoden satoon. Kaikkea selluloosapitoista materiaalia ei hyödynnetä näin, vaan sille on pitänyt keksiä hyötykäyttöä.

Kenties tunnetuin ja yleisin biomassan uudelleenkäyttötapa on sen muuntaminen käymisprosessilla etanoliksi. Alkoholikäyminen on tunnettu jo usean vuosituhannen ajan. Näin valmistettuna energiaetanoli kuluttaisi kuitenkin merkittävästi ravintokäyttöön tarvittavia raaka-aineita. Viime vuosina on opittu käyttämään ravinnoksi kelpaamatonta selluloosaa bioetanolin tuotannossa, ja tämän uskotaan lisäävän bioetanolin käyttöä polttoaineena.

Hiilihydraattipohjaisten biopolymeerien lisäksi erilaisten rasvojen käyttöä energianlähteenä ja teollisuuden voiteluaineena on lisätty voimakkaasti.

Hiilen kierto

Ilma on maapallon eliöille välttämätön kaasuseos. Ilmasta suurin osa eli 78 % on typpikaasua. Happea ilmassa on noin 21 %, argonia 0,9 % ja hiilidioksidia noin 0,04 %. Ilmassa on myös jonkin verran vesihöyryä, tyypillisesti noin 1 tilavuusprosentti.



Maapallon hiili on jatkuvassa kierrossa. Luvut ilmaisevat hiilen vuosittaista kiertoa Gt hiiltä vuodessa.

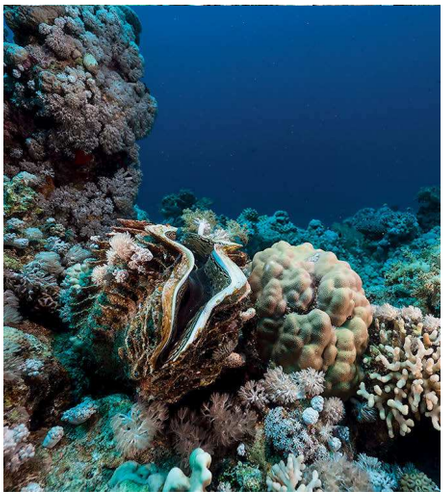
Hiilellä on kaksi kiertoa. **Biokierrossa** kasvit sitovat ilman hiilidioksidin yhteytyksessä hiilihydraatteihin. Kasvit ja eläimet voivat näin käyttää hiilen. Hiili vapautuu takaisin kiertoon hengityksen ja maatumisen seurauksena. Toinen hiilen kierto on **geokierto**, jossa hiilidioksidi liukenee veteen ja sedimentoituu maaperän kivikerrokseen. Geokierto on biokiertoa huomattavasti hitaampaa, ja kivistä hiilidioksidi pääsee vapautumaan kuumuuden, veden ja happojen aiheuttaman rapautumisen seurauksena.

Kun energiaa tuotetaan polttamalla hiilipitoista polttoainetta, ilmakehään vapautuu hiilidioksidia. Hiilidioksidin pääsyä ilmakehään voidaan vähentää vain siirtymällä käyttämään energialähteitä, joissa ei vapaudu hiilidioksidia.

✔ Osaatko?

Vertaile sivulla 36 olevan Taulukon 5.1 perusteella eri polttoaineiden tuottamia hiilidioksidimääriä suhteutettuna poltettuun massaan tai saatuun energiaan.

Happamat sateet vahingoittavat erityisesti havupuita.



Merivesien hiilidioksidipitoisuuden noustessa vesi happamoituu. Tämä rapauttaa kalkkikuoristen simpukoiden ja muiden merieläinten kuoria. Kuvan jättiläissimpukka on lähes kuollut sukupuuttoon tästä syystä.

Kasvihuoneilmiö

Fossiilisten polttoaineiden käytössä on kaksi vakavaa ongelmaa: Ensinnäkin ne ovat uusiutumattomia eli niiden korvautuminen on hyvin hidasta. Fossiilisten polttoaineiden käytön ennustetaan kasvavan edelleen, eikä olemassa olevien varantojen suuruutta osata tarkasti arvioida. Toinen vakava ongelma liittyy niiden käytön ympäristöongelmiin. Polttoaineiden pienetkin rikkiepäpuhtaudet synnyttävät palaessaan rikin oksideja, joista syntyy edelleen veden kanssa rikkihappoa. Hiiliyhdisteiden palaminen korkeissa lämpötiloissa polttaa myös ilman typen oksideiksi, joista taas syntyy typpihappoa. Nämä hapot yhdessä aiheuttavat happosateen, jonka vaikutukset kasveihin ja muuhun luontoon ovat olleet merkittäviä. Happosateen vuoksi myös metallirakenteet ruostuvat helposti ja esimerkiksi kalkkikivestä eli marmorista tehdyt veistokset rapautuvat. Sade happamoittaa myös merivesiä. Tieliikenteen aiheuttamat typenoksidipäästöt ovat merkittäväsi vähentyneet autojen pakokaasukatalysaattorien ansiosta.

Vesihöyry, hiilidioksidi, metaani, typen oksidit, otsoni ja freonit eli CFC-yhdisteet ovat yleisimmät kasvihuonekaasut. Kasvihuonekaasut absorboivat ja heijastavat takaisin maahan infrapunasäteilyä ja estävät siten lämmön siirtymisen ilmakehän alemmista kerroksista ylöspäin. Tämä johtaa ilmaston lämpenemiseen.

Vesihöyry ja hiilidioksidi vaikuttavat kasvihuoneilmiöön voimakkaimmin. Luonnollinen kasvihuoneilmiö mahdollistaa sen, että maapallolla säilyvät elämälle suotuisat lämpötilaolosuhteet eikä maapallo jäähdy. Ihmisen toiminta on lisännyt kasvihuonekaasujen määrää ilmakehässä. Etenkin hiilidioksidin sekä metaanin ja freonien kasvaneet pitoisuudet voivat järkyttää luonnollisen kasvihuoneilmiön herkkää tasapainoa ja johtaa ilmastonmuutokseen.

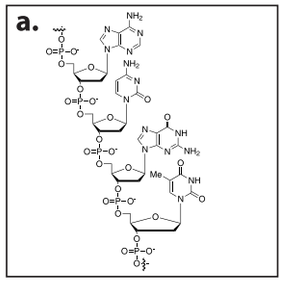
Kaatopaikoilla tapahtuu jätteiden mätänemistä, jolloin ilmakehään pääsee kasvihuonekaasuja.

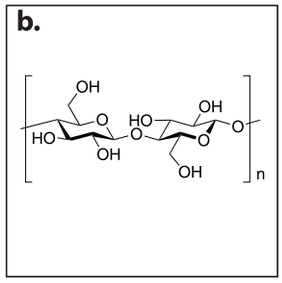
HARJOITUSTEHTÄVÄT

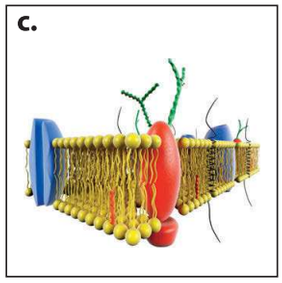
P Perustehtävät

32. Fotosynteesissä tapahtuu seuraava reaktio:
$6\ CO_2(g) + 6\ H_2O(l) \rightarrow C_6H_{12}O_6(s) + O_2(g)$
a. Nimeä reaktiossa esiintyvät yhdisteet.
b. Mistä on peräisin reaktioon tarvittava energia, ja mihin se reaktiossa sitoutuu?
c. Miten sitoutunut energia saadaan kasvien ja eläinten hyötykäyttöön?

33. Nimeä alla olevien kuvien biopolymeerit ja kerro, missä niitä esiintyy ja mikä on niiden tarkoitus.







Sy Syventävät

Taulukko 5.1. Eri polttoaineiden lämpöarvoja ja hiilidioksidikuormituksia

Polttoaine	kJ/g	gCO_2/MJ
Kaupunkijäte	– 12,7	
Selluloosa	– 17,5	
Mäntypuu	– 21,2	115
Metanoli	– 22,7	
Turve	– 20,8	106
Kivihiili	– 28,3	94,6
Iso-oktaani	– 47,8	73
Maakaasu	– 49,5	56,1

34. Keskikokoisen omakotitalon lämmitykseen tarvitaan energiaa noin 36 GJ vuodessa. Laske viereisen taulukon lämpöarvojen perusteella, montako kiloa
a. mäntypuuta
b. kivihiiltä
c. maakaasua
tarvitaan lämmittämään yksi omakotitalo vuoden ajan. Laske myös, kuinka paljon hiilidioksidia syntyy kullakin energialähteellä.

35. Mikä on typpikierto? Miten lannoitteiden käyttö voi vaikuttaa luonnon typpikiertoon?

36. Selvitä, mitä tarkoittavat termit
a. rasvaliukoinen vitamiini
b. eläinproteiini
c. RNA
d. biodiesel.

R Ryhmätehtävät

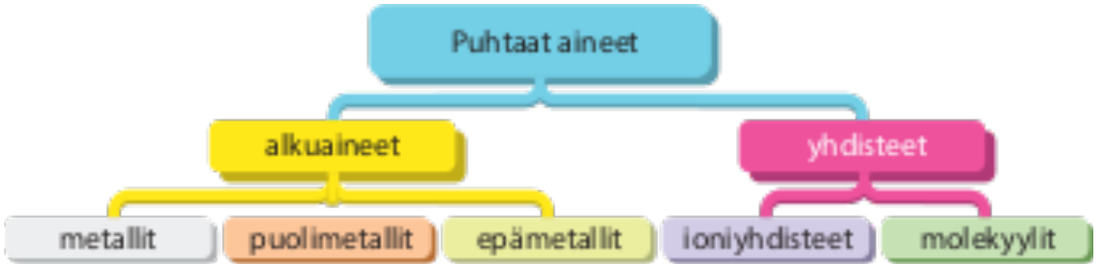
R9. Tarkastelkaa puun ja siitä saatavien erilaisten kemikaalien käyttötarkoituksia.

R10. Selvittäkää, mitä on fotokemiallinen sumu. Miten se syntyy, mitkä ovat sen vaikutukset ympäristölle ja miten sitä voidaan estää?

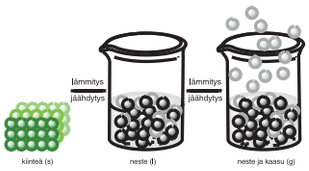
R11. Miten vesien happamoituminen vaikuttaa eliöihin?

Visuaalinen kertaus

Puhtaat aineet jaetaan alaluokkiin

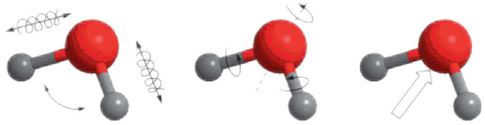


Olomuodot



kiinteä | neste | neste ja kaasu

Molekyylin osasten liikkeet

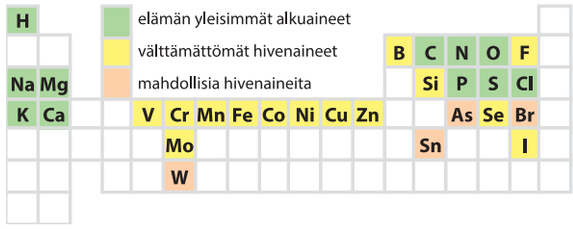


vibraatio värähtely (venyminen ja taipuminen)

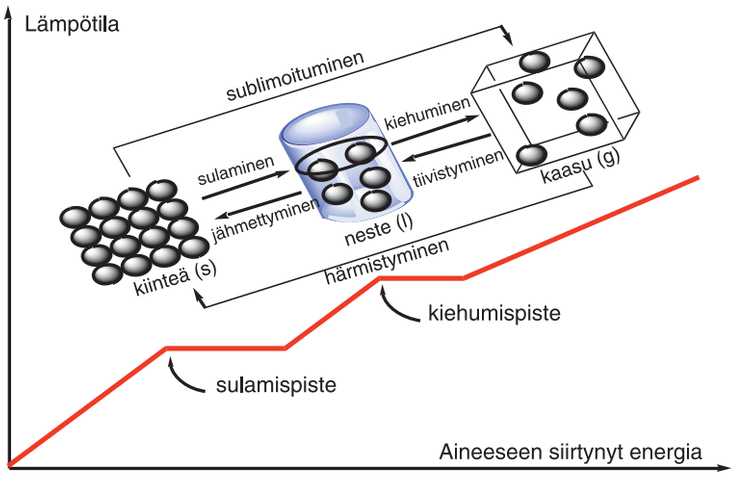
rotaatio pyöriminen

translaatio etenevä liike

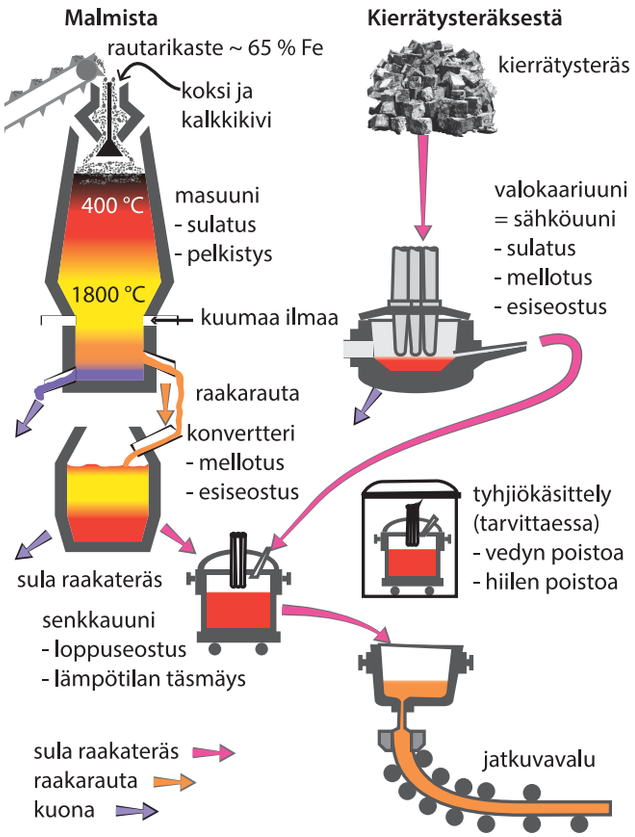
Elämän alkuaineet



Olomuodon muutokset ja niiden energia



Teräksen valmistus



II ATOMIN RAKENNE JA JAKSOLLINEN JÄRJESTELMÄ

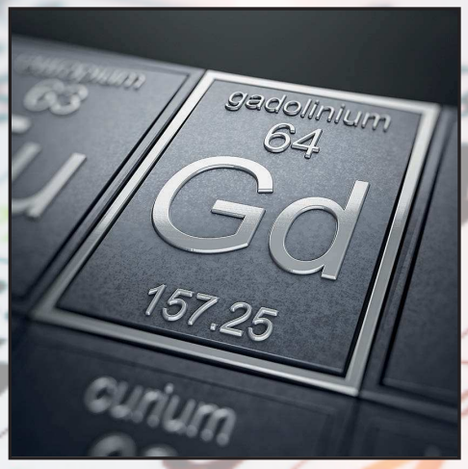
6 Atomi
7 Elektronirakenne
8 Jaksollinen järjestelmä
9 Jaksolliset ominaisuudet

Alkuaineiden ominaisuudet noudattavat hyvin tarkkoja lainalaisuuksia. Luonnontieteiden ja kemian kehityksen myötä näitä lainalaisuuksia on opittu tunnistamaan ja ennakoimaan. Alkuaineet voidaan järjestää jaksolliseksi järjestelmäksi, jota pidetään yhtenä tieteenhistorian suurimmista selittävistä yleistyksistä.

Jaksollinen järjestelmä on olemassa niin pitkään kuin kemiaa tutkitaan. Ja jos jonain päivänä pystymme kommunikoimaan jonkin toisen avaruuden osan kanssa, voimme olla varmoja, että kummallakin kulttuurilla on yhteinen järjestynyt alkuaineiden järjestelmä, jonka molemmat älylliset elämän muodot pystyvät välittömästi tunnistamaan.

Lainaus teoksesta: John Emsley: *The Elements* 1988

Tässä jaksossa tutustumme atomin rakenteeseen ja siihen, miten se johtaa jaksollisen järjestelmän syntymiseen. Tarkastelemme myös, miten jaksollinen järjestelmä selittää alkuaineiden ja niiden kemiallisten yhdisteiden ominaisuudet.

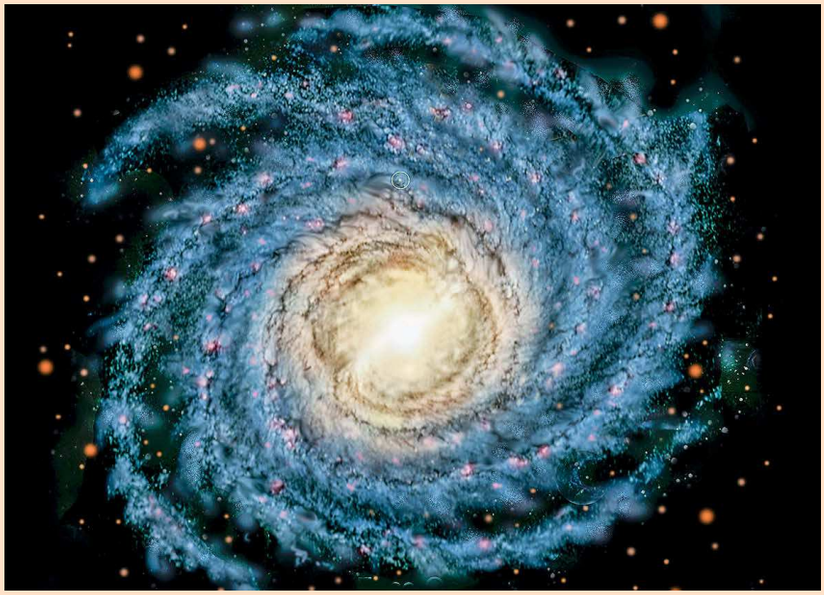


Gadolinium on saanut nimensä harvinaisten maametallien tutkijan, suomalaisen Johan Gadolinin (1760–1852), mukaan.

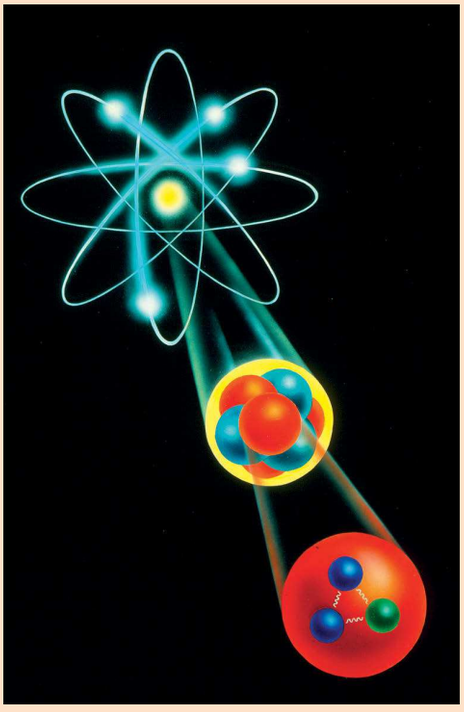
6 Atomi

! Luvun sisällys

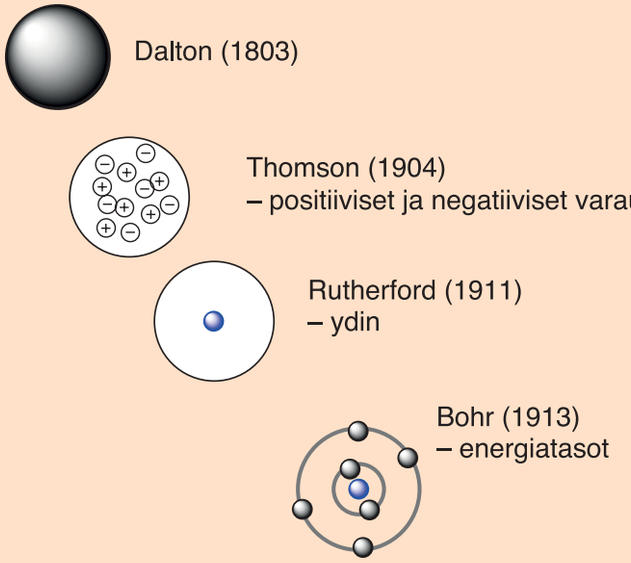
- **Atomin rakenne**
- **Atomimallien synty**
- **Suhteellinen atomimassa**



Atomimallit ovat syntyneet tähtitaivaan innoittamina.



Atomillakin on hienorakenne.



Atomin rakenteen käsityksen kehitys

→ Osaat jo…

- Olet opiskellut, että aineet voidaan jakaa puhtaisiin aineisiin ja seoksiin. Puhtaita aineita ovat kemialliset yhdisteet ja alkuaineet.
- Tiedät jo myös, että alkuaineet koostuvat atomeista

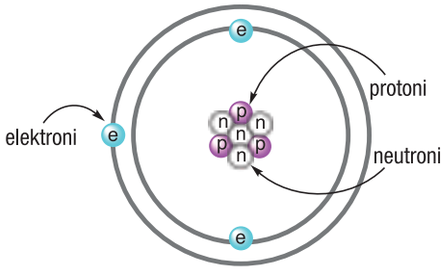
↓ Opiskelet nyt…

- Alkuaineen pienin, jakamaton, osa on atomi. Tässä luvussa tutustut atomin rakenteeseen ja sen eri esitystapoihin.

Opiskelet myöhemmin… →

- Luvussa 7 opit, että atomin elektronikuori määrää alkuaineen käyttäytymisen, sen reaktiivisuuden.
- Luvussa 8 näet, että alkuaineet käyttäytyvät säännöllisesti.
- Luvussa 9 tutustut alkuaineiden jaksolliseen järjestelmään, jonka avulla voidaan päätellä alkuaineiden ominaisuuksia.

Atomin rakenne



Alkuaineen pienin rakenneosa on atomi. Atomi koostuu kolmesta päärakenneosasta: atomiytimessä olevista positiivisesti varautuneista protoneista ja sähköisesti neutraaleista neutroneista sekä atomiytimen ulkopuolella olevista negatiivisesti varautuneista elektroneista. Elektronit muodostavat elektroniverhon, joka vastaa alkuaineen kemiallisista ominaisuuksista ja erityisesti sen kemiallisista reaktioista. Elektronin massa on vain 5/10 000 protonin tai neutronin massasta, minkä seurauksena koko atomin massasta yli 99,9 % on atomin ytimessä. Atomin elektroniverhon halkaisija taas on noin 10 000 kertaa suurempi kuin atomiytimen halkaisija.

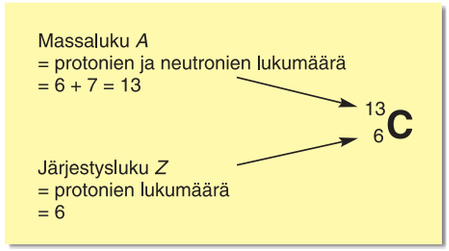
? Pohdi

Jos atomiydin suurennettaisiin 1 cm:n kokoiseksi marmorikuulaksi, elektroniverhon halkaisija olisi 100 m. Atomista suurin osa on siis ”tyhjää”! Esimerkiksi 1 000 kuutiometrissä rautaa ytimien osuus tilavuudesta on vähemmän kuin 1 mm^3. Tämä kuutiomillimetri painaa noin 8 000 tonnia, kun muu osa on käytännöllisesti katsoen tyhjää ja painotonta tilaa.

	symboli	sähkövaraus (C)	massa (g)	massa (u)
protoni	p^+	$+1{,}602 \cdot 10^{-19}$	$1{,}674 \cdot 10^{-24}$	1,0073
neutroni	n^0	0	$1{,}675 \cdot 10^{-24}$	1,0087
elektroni	e^-	$-1{,}602 \cdot 10^{-19}$	$0{,}911 \cdot 10^{-29}$	0,0005486

Kaikki alkuaineet ovat muodostuneet atomeista, jotka koostuvat kolmesta hiukkasesta: protoneista, neutroneista ja elektroneista.

Atomisymbolit



Atomien ytimissä olevien protonien määrä on kullekin alkuaineelle ominainen, ja tätä lukumäärää sanotaan atomin järjestysluvuksi *Z*. Protonit ja neutronit sijaitsevat siis atomin ytimessä, ja niitä kutsutaan yhdessä nukleoneiksi. Nukleonien yhteinen lukumäärä on atomin massaluku *A*. Alkuaineella voi olla ytimessään eri määrä neutroneja. Koska alkuaineen atomit ovat sähköisesti varauksettomia, atomin järjestysluku kertoo myös atomissa olevien elektronien lukumäärän.

✔ Osaatko?

Alumiinin symboli on $^{27}_{13}\mathrm{Al}$.

a. Kuinka monta protonia alumiiniatomilla on?
b. Kuinka monta elektronia alumiiniatomilla on?
c. Kuinka monta neutronia alumiiniatomilla on?

Alkuaine
Samaa alkuainetta ovat kaikki ne atomit, joiden ytimessä on sama määrä protoneja.

Alkuaineilla on isotooppeja

Neutronien lukumäärä atomiytimessä voi siis vaihdella, jolloin saman alkuaineen eri atomeilla voi olla eri massa. Nämä ovat kyseisen alkuaineen isotooppeja. Isotoopeilla on sama määrä protoneita ja siten myös elektroneja, joten niiden kemialliset ominaisuudet ovat samanlaisia.

Vedyllä on kolme isotooppia: vety, deuterium ja tritium. Vedyn isotooppien massaerot ovat suhteellisen suuret, minkä vuoksi vedyn isotoopit käyttäytyvät myös kemiallisesti hieman toisistaan poikkeavasti, toisin kuin muiden alkuaineiden isotoopit.

E Esimerkki

Kloorikaasu koostuu kahdesta kloorin isotoopista: kloori-35 ja kloori-37. Niillä on eri massaluvut, eli niillä on eri määrät neutroneja, mutta kummallakin isotoopilla on sama määrä protoneita ja elektroneja. Atomiluvun perustella niillä on 17 protonia ja 17 elektronia.

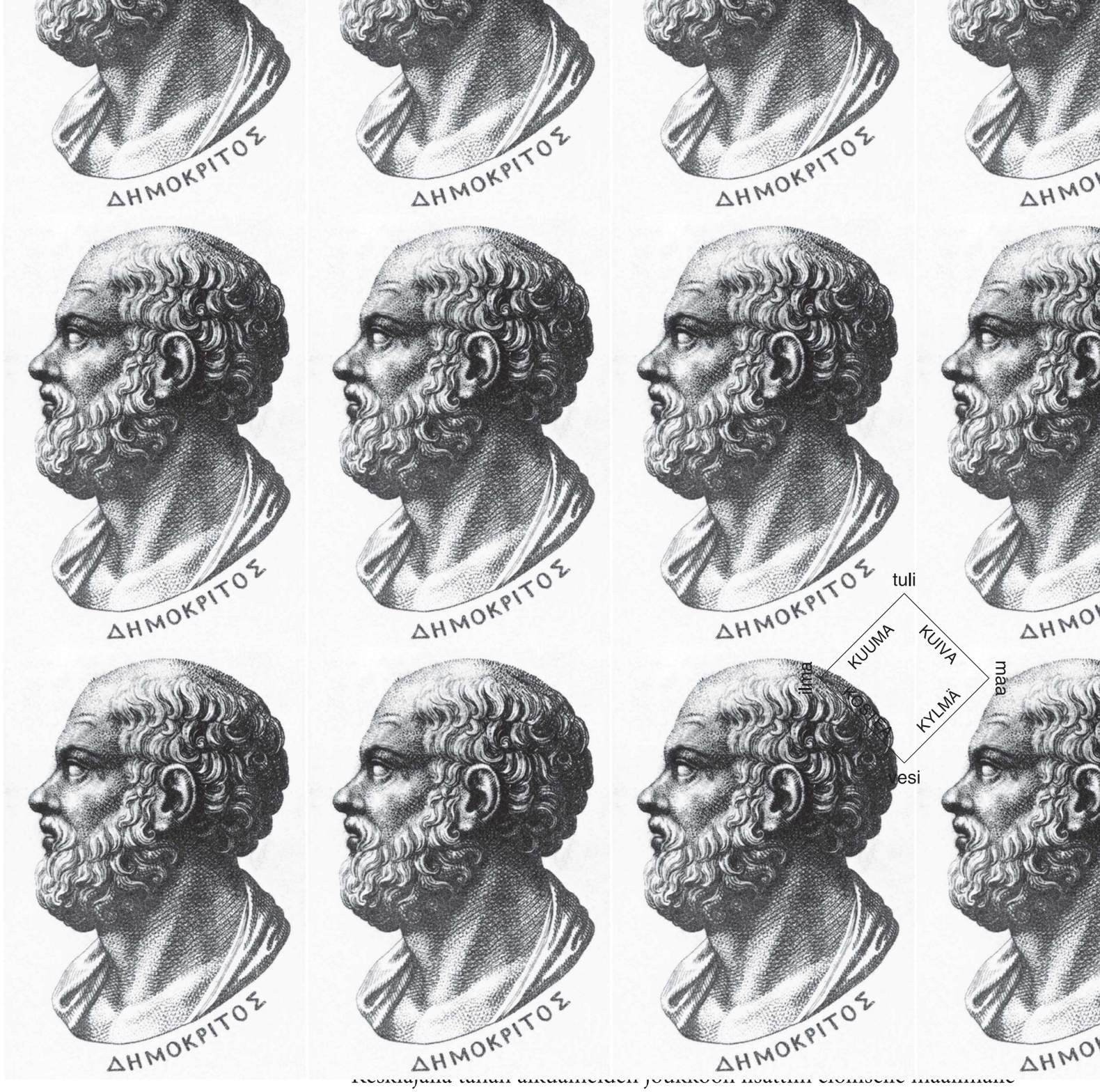
Toinen esimerkki on luonnon magnesium, joka koostuu kolmesta isotoopista.

^{24}Mg (79 %)	^{25}Mg (10 %)	^{26}Mg (11 %)
12 protonia	12 protonia	12 protonia
12 neutronia	13 neutronia	14 neutronia
12 elektronia	12 elektronia	12 elektronia

Radiohiiliajoitus

Hiilen radioaktiivinen isotooppi ^{14}C syntyy ilmakehän ylemmissä kerroksissa, kun kosmisten säteiden synnyttämät neutronit reagoivat typen kanssa: $^{14}N + {}^{1}n \longrightarrow {}^{14}C + {}^{1}H$

^{14}C reagoi nopeasti hapen kanssa, jolloin syntyy radioaktiivista hiilidioksidia, joka sekoittuu tasaisesti ilmakehään. Radioaktiivinen ^{14}C hajoaa hitaasti takaisin typen pysyvään muotoon vapauttaen elektronin. Tämä hajoaminen on hyvin hidasta, puolet ^{14}C:sta hajoaa 5730 vuodessa eli puoliintumisaika on 5730 vuotta. Yhteyttävät kasvit sitovat ilmakehän hiilidioksidin fotosynteesissä sokereihin ja lopulta muuhun elolliseen aineeseen. Niin kauan kuin yhteyttäminen jatkuu, radioaktiivisen hiilen suhteellinen määrä säilyy samana kuin se on ilmakehässä (~$1:10^{12}$). Kun yhteyttäminen lakkaa kasvin kuollessa, radioaktiivisen hiilen hajoaminen jatkuu ja tämä suhde pienenee. Koska puoliintumisaika tunnetaan, voidaan jäljellä olevan ^{14}C:n määrästä arvioida orgaanisen aineen syntymisen ajankohta. Radiohiiliajoituksen kehitti **Willard Libby** Chicagon yliopistossa vuonna 1949. Hän sai siitä kemian Nobel-palkinnon vuonna 1960. Menetelmällä voidaan määrittää luotettavasti arkeologisten näytteiden ikä aina 60 000 vuoteen asti. Libby osoitti menetelmän tarkkuuden määrittämällä antiikin Egyptin kuninkaallisen laivan iän.

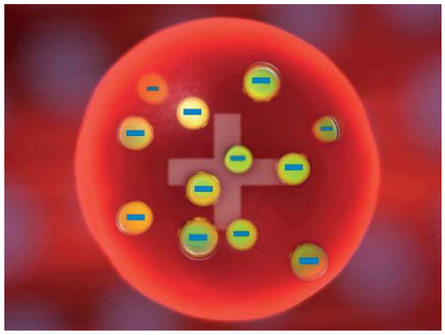


Demokritoksen maailma koostui ”kahdesta osasta, täydestä (pleros, stereon) ja tyhjästä, vakuumista (cenon, manon). Täyteys jakaantuu pieniin osiin, hiukkasiin joita kutsutaan atomeiksi (a-tomos, jakamaton, viipaloimaton). Atomeja on ääretön määrä, ne ovat ikuisia, ehdottoman yksinkertaisia; ne ovat kaikki samanlaisia luonteeltaan, mutta eroavat muodoltaan, järjestykseltään ja sijainniltaan. Kaikki aineet, jokainen objekti, muodostuu noista atomeista, jotka voivat yhdistyä äärettömän monin eri tavoin.”

Keskiajana tähän aikuamelden joukkoon lisättiin elomselle maailmalle ominainen elämän voima, *vis vitalis*. Se antoi eläimille ja kasveille sellaiset ominaisuudet, joilla ne poikkesivat esimerkiksi kivistä. Tuon ajan ajattelu tuntuu nykyihmisestä varsin omituiselle! Palaminenkin selitettiin siten, että aineen palaessa siitä poistuu jotakin – olihan liekki selvästi palavasta aineesta poistuvaa! Tämä aine oli flogiston, jonka olemassaolon esitti vuonna 1667 saksalainen lääkäri ja alkemisti **Johann Joachim Becher**.

Antoine Laurent Lavoisier ja vaimonsa Marie-Anne, joka toimi Lavoisier'n assistenttina.

John Dalton



Thomsonin rusinapullamalli

Vallankumousten aika

Ranskan vallankumouksen aikaan 1700-luvun lopulla koko luonnontieteellinen maailmankuva ja myös kemia kokivat mullistuksia. Erityisen merkittävä tieteellinen muutos oli, kun ruotsalainen **Carl Wilhelm Scheele** (1742–1786), englantilainen **Joseph Priestley** (1733–1804) ja ranskalainen **Antoine Laurent Lavoisier** (1743–1794) osoittivat kukin tahoillaan palamisen johtuvan aineen reaktiosta ilmassa olevan alkuaineen, hapen kanssa. Flogiston-teoria menetti uskottavuutensa, ja hyvin pian myös mystinen ”elämän voima” sai luonnollisen selityksen.

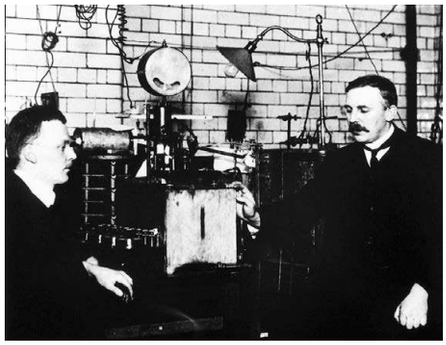
Daltonin atomimalli

Hapen keksiminen itsenäisenä alkuaineena johti nopeasti aineen rakenteen teorian syntymiseen. Englantilainen opettaja **John Dalton** (1766–1844) esitti vuonna 1803 atomiteoriansa, jonka mukaan:

1. Alkuaineet koostuvat äärettömän pienistä hiukkasista, atomeista.
2. Tietyn alkuaineen atomit ovat identtisiä kooltaan, massaltaan ja muilta ominaisuuksiltaan; eri alkuaineiden atomit poikkeavat toisistaan kooltaan, massaltaan ja ominaisuuksiltaan.
3. Atomeja ei voida jakaa, luoda eikä tuhota.
4. Eri alkuaineiden atomit yhdistyvät yksinkertaisessa kokonaislukujen suhteessa muodostaen kemiallisia yhdisteitä.
5. Kemiallisissa reaktioissa atomit yhdistyvät, eroavat tai vaihtavat paikkaa keskenään.

Thomson löytää elektronin

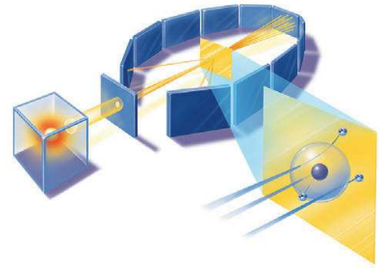
Seuraava merkittävä askel atomin rakenteen selviämisessä oli elektronin löytyminen. Sen löysi englantilainen fyysikko **Joseph John Thomson** (1856–1940) vuonna 1897 tutkiessaan katodisädeputkessa tapahtuvaa sähköpurkausta. Tutkimus tehtiin Cambridgen yliopiston Cavendish-laboratoriossa. Löytö johti siihen, että Thomson esitti oman atomimallinsa vuonna 1904. Sen mukaan atomi koostui positiivisesti varautuneesta ytimestä, jossa negatiivisesti varautuneet elektronit sijaitsivat kuin rusinat pullassa.



Ernest Rutherford ja oppilaansa Hans Geiger Manchesterin yliopistolla 1908. Kuvassa laitteisto, jolla alfa-hiukkaset havaittiin.

Rutherfordin malli

Atomiytimen ja elektronin suhteellinen koko ja paikka selvenivät, kun **Ernest Rutherford** (1871–1937) pommitti ohutta kultalevyä alfa-säteillä. Nykyisin tiedetään, että nämä ”alfa-säteet” ovat heliumatomin ytimiä. Suurin osa alfahiukkasista kulki suoraan kullan läpi, mutta osa muutti suuntaansa ja jotkut jopa kimposivat takaisin tulosuuntaansa. Kokeistaan Rutherford pystyi päättelemään, että atomin massasta ainakin 99 % sijaitsi pienikokoisessa positiivisesti varautuneessa ytimessä. Rutherfordin vuoden 1911 atomimallin mukaan ytimen ympärillä on elektroniverho, jossa negatiivisesti varautuneet elektronit kiertävät ydintä. Koko atomin tilavuudesta suurin osa onkin tyhjää tilaa!

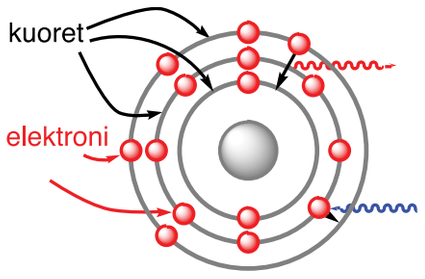


Rutherfordin koe osoitti, että elektronit kiertävät atomiytimen ympärillä.

Niels Bohr ja Ernest Rutherford Manchesterin yliopistolla.

Bohrin malli

Rutherfordin oppilas, tanskalainen **Niels Bohr** (1885–1962), tarkensi opettajansa esittämää mallia vuonna 1913, jolloin hän selitti elektronien kiertävän atomiydintä ympyränmuotoisilla radoilla, kuten planeetat kiertävät aurinkoa. Kukin rata vastaa tiettyä energiaa, ja kullekin radalle eli kuorelle mahtuu vain tietty määrä elektroneja. Kun elektroni siirtyy kuorelta toiselle, sähkömagneettista säteilyä joko absorboituu tai vapautuu. Koska kunkin kuoren energia on vakio, myös absorboituvan ja vapautuvan säteilyn energiat ovat vakiot.

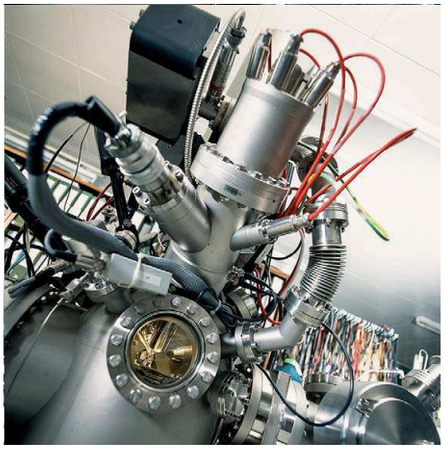


Säteilyä vapautuu, kun elektroni siirtyy ylemmältä kuorelta alemmalle.

Säteilyä absorboituu, kun elektroni siirtyy alemmalta kuorelta ylemmälle.

Elektronin virittyminen ja virityksen purkautuminen Bohrin atomimallin mukaan.

Erwin Schrödinger



Nykyisin atomien ja molekyylien massa mitataan massaspektrometrillä.

Kvanttimekaniikka mullisti maailmankuvan

Itävaltalainen fyysikko **Erwin Schrödinger** (1887–1961) esitti vuonna 1926 kuuluisan matemaattisen mallinsa elektronin sijainnista ja energiatilasta kolmiulotteisessa avaruudessa. Tätä kvanttimekaanista atomimallia pidetään tarkimpana kuvauksena atomin rakenteesta. Sen mukaan elektronin tarkkaa paikkaa ja liikettä ei voi tietää yhtaikaa, niille voi vain arvioida todennäköisyydet. Tämä on nykyisin hyväksytty kuvaus atomin rakenteesta.

Suhteellinen atomimassa A_r

Massaspektrometreillä voidaan määrittää atomien massat hyvinkin tarkasti, vaikka ne ovatkin suuruusluokkaa $1 \cdot 10^{-24}$–$5 \cdot 10^{-22}$ g. Koska laskeminen näin pienillä luvuilla on hankalaa, John Dalton ehdotti vuonna 1803 otettavaksi käyttöön **suhteellisen atomimassan** A_r. Alun perin protonin massaan sidottu painoyksikkö on vuosien saatossa tarkentunut ja vuodesta 1961 lähtien sen on määritelty olevan 1/12 hiilen isotoopin ^{12}C massasta. Tätä painoyksikköä kutsutaan atomimassayksiköksi, u, tai nykyisin mieluummin dalton, Da.

$$1\ \text{Da} = 1\ \text{u} = \frac{1}{12} m\left(^{12}\text{C}\right)$$

Lähes kaikki luonnossa esiintyvät alkuaineet ovat isotooppiseoksia, mikä on huomioitu taulukkojen atomimassoissa. Esimerkiksi hiilen atomimassa on 12,0107 Da ja vedyn 1,00794 Da.

E Esimerkki

Luonnon kloori on seos isotooppeja ^{35}Cl ja ^{37}Cl. Isotooppia ^{35}Cl on 75 % ja isotooppia ^{37}Cl loput 25 %. Mikä on kloorin suhteellinen atomimassa?

$$A_r = \frac{(75 \cdot 35) + (25 \cdot 37)}{100} = 35,5$$

Vastaus: Kloorin suhteellinen atomimassa on 35,5.

HARJOITUSTEHTÄVÄT

P Perustehtävät

37. Mistä hiukkasista atomi koostuu, ja missä atomin osassa näitä esiintyy?

38. Miksi isotoopeilla on samat kemialliset ominaisuudet?

39. Miksi isotoopeilla voi olla erilaiset fysikaaliset ominaisuudet?

40. Kaliumatomilla on 19 elektronia ja 20 neutronia.
- **a.** Kuinka monta protonia kaliumatomilla on?
- **b.** Mikä on kaliumin massaluku?
- **c.** Kirjoita kaliumin atomisymboli.

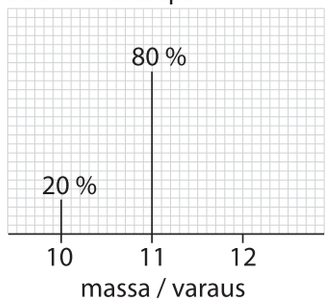
41. Alkuaineella A on 8 protonia ja 9 neutronia.
- **a.** Mikä alkuaine on kyseessä?
- **b.** Kirjoita alkuaineen atomisymboli.
- **c.** Kirjoita alkuaineen A jonkin toisen isotoopin atomisymboli.

Sy Syventävät

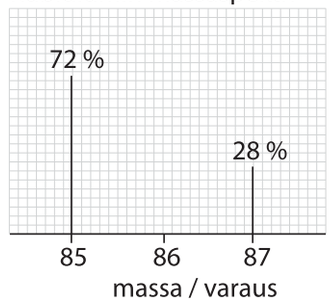
42. Zirkonium-näytteessä on 51,5 % ^{90}Zr 11,2 % ^{91}Zr 17,1 % ^{92}Zr 17,4 % ^{94}Zr ja 2,8 % ^{96}Zr. Laske zirkoniumin suhteellinen atomimassa A_r.

43. Laske alla esitettyjen massaspektrien avulla
- **a.** boorin
- **b.** rubidiumin suhteelliset atomimassat A_r

Boorin massaspektri



Rubidiumin massaspektri



44. Voidaanko Bohrin atomimallia pitää tarkkana kuvauksena atomin rakenteesta? Perustele vastauksesi.

So Soveltavat

45. Ota selvää massaspektrometrin toiminnasta ja käytöstä.

46. Laadi aikajana atomin rakenteen kehityksestä. Liitä janaan myös muita tärkeitä historiallisia tapahtumia.

R Ryhmätehtävä

R12. Selvittäkää, mitä luonnollisia ja synteettisiä isotooppeja vedyllä voi olla. Mitkä niistä ovat pysyviä? Kuinka helposti/nopeasti ne voivat hajota?

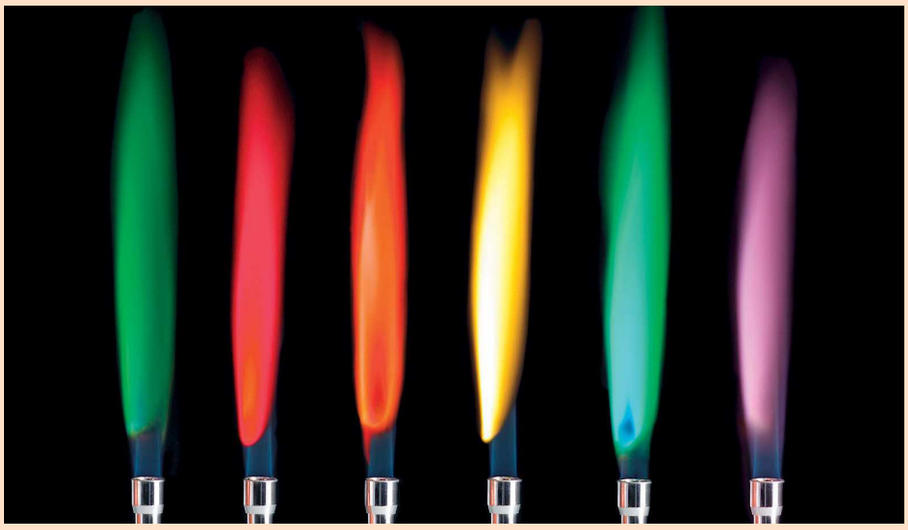
R13. Selvittäkää, minkä eri alkuaineiden isotooppeja käytetään lääkinnässä.

R14. Laatikaa yhdessä käsitekartta atomimallien kehityksestä.

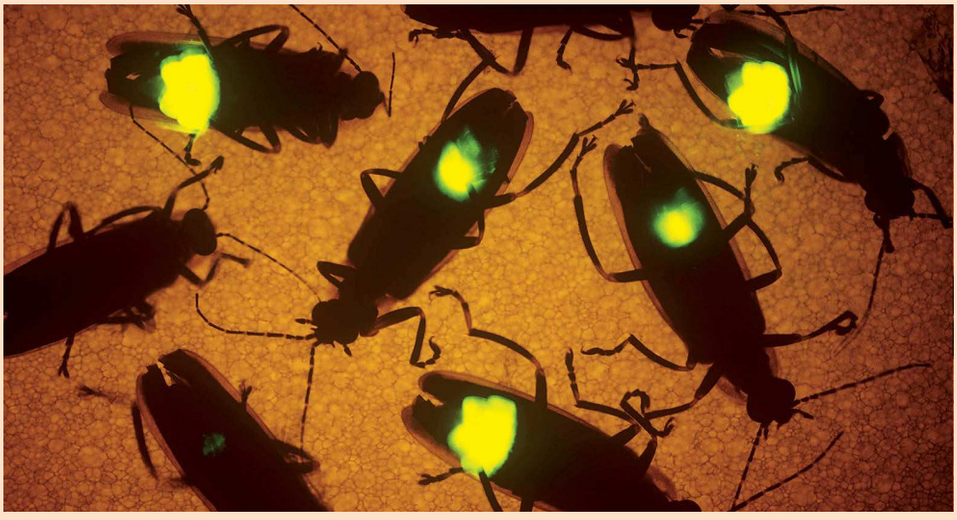
7 Elektronirakenne

! Luvun sisällys

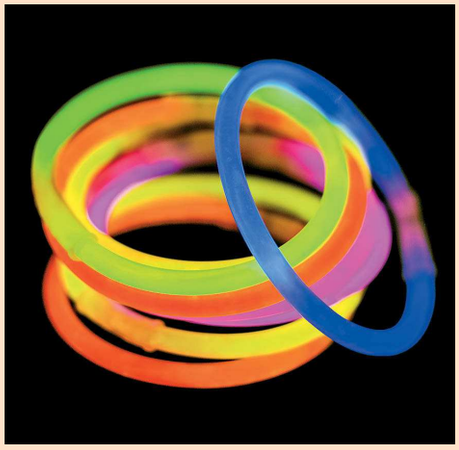
- **Atomin virittyminen**
- **Elektronikuoret**
- **Luminesenssi**
- **Elektronien liikkeestä valoa**



Metallien viritystilan purkautuminen havaitaan erivärisinä liekkeinä.



Tulikärpäsen loiste perustuu bioluminesenssiin.



Luminesenssiä voidaan hyödyntää monin tavoin tieteessä ja arkielämässä.

→ Osaat jo…

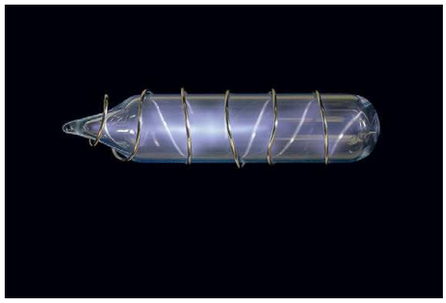
- Edellisessä kappaleessa opiskelit atomimalleja.
- Tiedät, että atomin massa on keskittynyt ytimeen, jota ympäröi kevyiden elektronien verho.

↓ Opiskelet nyt…

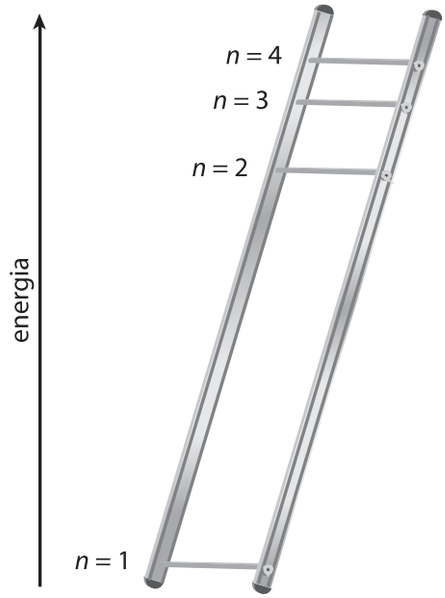
- Elektroniverholla on tarkka rakenne.
- Elektronit ovat asettautuneet energian mukaiseen järjestykseen.
- Muutoksia elektronien energiassa hyödynnetään esimerkiksi valaistuksessa.

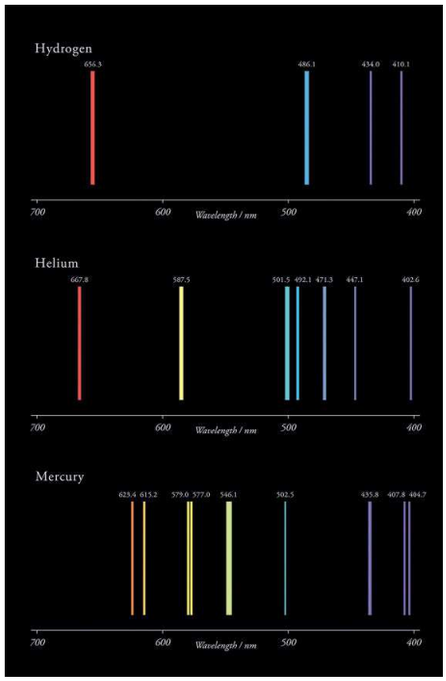
Opiskelet myöhemmin… →

- Luvussa 8 opit, kuinka atomin elektronirakenne määrää sen paikan jaksollisessa järjestelmässä.
- Luvussa 9 opit kuinka aineiden ominaisuudet muuttuvat jaksollisesti.
- Näitä tietoja tarvitset, kun opiskelet kemiallisista sidoksista luvuissa 10–16.



Vedyn plasmapurkaus, joka on saatu aikaan johtamalla korkea jännite vetykaasun läpi.





H – He – Hg viivaspektrit

Atomin virittyminen

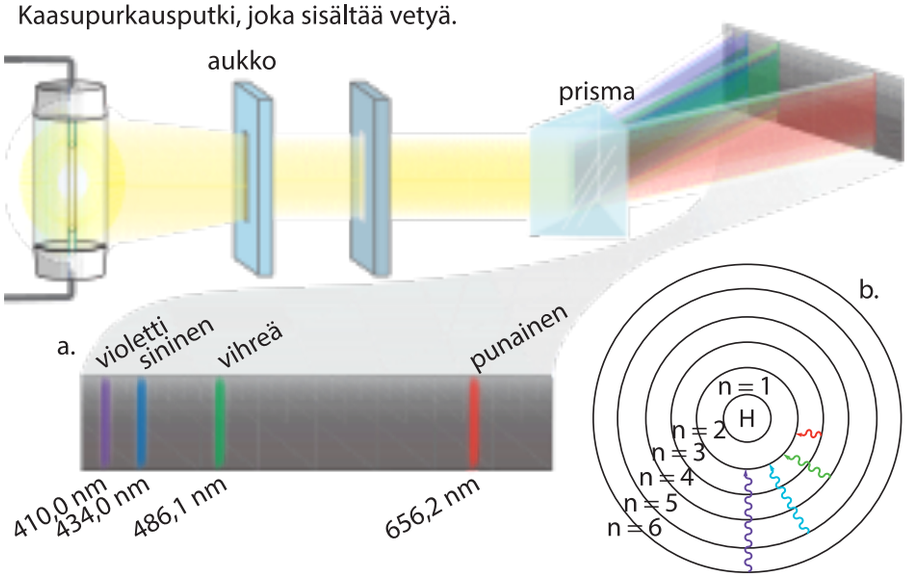
Kun kaasutilassa olevalle atomille annetaan tarpeeksi energiaa, siitä irtoaa elektroni. Tätä energiaa kutsutaan ionisoitumisenergiaksi. Esimerkiksi vetyatomista jää elektronin irtoamisen jälkeen jäljelle vain protoni. Tällöin vetyatomi on ionisoitunut.

Bohrin atomimallissa kukin elektronikuori kuvaa tiettyä energiatasoa. Elektronien energia on **kvantittunut**, mikä tarkoittaa, että niiden energia muuttuu hyppäyksittäin, kun ne siirtyvät energiatasolta toiselle. Jos atomille annetaan energiaa vähemmän kuin ionisoitumiseen tarvitaan, atomi **absorboi** energian ja atomin elektroni **virittyy**. Tämä tarkoittaa, että elektronit irtoamisen sijaan siirtyvät alemmilta energiatasoilta ylemmille energiatasoille. Virittynyt tila ei ole pitkäikäinen, vaan elektronit pyrkivät palaamaan takaisin perustilaansa. Palatessaan alemmalle energiatasolle elektroni **emittoi** eli säteilee energiaa. Vain tietyt energiahypyt ovat sallittuja. Tämä on vastaavaa kuin kiipeäisit rappuja ylöspäin: voit nousta yhden, kaksi tai kolme askelmaa kerralla, mutta et esimerkiksi kahta ja puolta askelmaa! Samalla tavalla alas tullessasi voit hyppiä askelmalta toiselle, mutta et niiden väliin!

Viivaspektrit

Peruskoulussa olet oppinut, että valo on sähkömagneettista säteilyä ja että prisman avulla valkoinen valo voidaan hajottaa eri väreiksi. Näin syntyy jatkuva spektri. Koska atomissa olevien elektronien energia on kvantittunutta, viritystilan purkautumisen tuloksena on atomispektri, joka koostuu terävistä viivoista. Usein puhutaankin viivaspektristä.

Atomispektrissä olevien viivojen aallonpituuden ja elektronien absorboiman energian välillä on matemaattinen yhteys. Elektronin siirtyminen energiatasolta toiselle vaatii täsmälleen sen määrän energiaa, joka vastaa energiatasojen eli Bohrin atomimallin mukaisten kuorten välistä energiaeroa.



Vetyatomin emissiospektri näkyvän valon alueella.
Kuva a. Spektrin mittaus.
Kuva b. Elektronin siirtymät, joista spektrin viivat muodostuvat.

✔ Osaatko?

Vapautuuko vai absorboituuko seuraavissa elektronisiirtymissä energiaa?
a. $n = 3 \rightarrow n = 1$ b. $n = 2 \rightarrow n = 4$.

? Pohdi

Jos keltaisella valolla saadaan metallin pinnalta irtoamaan elektroni, mitä samalle metallille tapahtuu, jos valaiset sitä ultraviolettivalolla?

Elektronikuoret

Pääkvanttiluku *n* ilmoittaa elektronikuoren eli energiatason

E_n on elektronin energia energiatasolla n, ja kokonaisluku n (≥ 1) on **pääkvanttiluku**. Tämä energia on nolla silloin kun $n = \infty$, eli elektroni on etäällä ytimestä. Kaikkien muiden energiatasojen energia on negatiivinen. Tämä selittää sen, että energiaa tarvitaan elektronin poistamiseen atomista, eli ionisoimiseen. Pääkvanttiluku siis kuvaa elektronikuorta, jolle elektroni on sijoittunut. Kuoret numeroidaan ytimestä alkaen numeroin 1, 2, 3… .

? Pohdi

Miksi E_n on negatiivinen?

Alikuori	Orbitaalien lukumäärä
s	1
p	3
d	5
f	7

Alikuorilla *l* on hieman toisistaan poikkeavat, kvantittuneet energiat.

Orbitaali näyttää, minkä muotoisen tilan yksittäinen elektroni todennäköisesti käyttää liikkuessaan omalla kuorellaan.

!

Spinkvanttiluku

+1/2 −1/2

Elektroni voidaan ajatella akselinsa ympäri pyöriväksi varauksselliseksi palloksi, jolloin se käyttäytyy kuin magneetti. Samaan suuntaan pyörivät elektronit indusoivat samansuuntaiset magneetit, jolloin ne hylkivät toisiaan. Vastaavasti vastakkaissuuntaiset magneetit vetävät toisiaan puoleensa.

Alikuoret ja orbitaalit

Luvussa 6 opimme Bohrin atomimallin, joka periaatteessa kuvastaa kaksiulotteisen atomin rakennetta. Samalla energiatasolla olevat elektronit poikkeavat kuitenkin hiukan toisistaan, koska atomi on kolmiulotteinen. Laajennetussa Bohrin mallissa näitä hieman toisistaan poikkeavia energiatiloja kutsutaan **alikuoriksi**. Kullakin alikuorella on **orbitaaleja**, joille kullekin voi asettua enintään kaksi elektronia. Orbitaalit kuvaavat sitä avaruuden tilaa, jossa elektroni todennäköisimmin esiintyy, ja tyypillisesti ne havainnollistetaan esittämällä pintoja, joiden sisällä elektroni esiintyy esimerkiksi 90 %:n todennäköisyydellä.

Orbitaalit ja kvanttiluvut

Kutakin orbitaalia kuvaa yksiselitteisesti kolme kvanttilukua: pääkvanttiluku n, sivukvanttiluku l ja magneettinen kvanttiluku m. Kvanttiluvut ovat kokonaislukuja, ja niiden arvot riippuvat toisistaan. Pääkvanttiluku n siis kuvaa elektronin energiatasoa eli sen etäisyyttä atomiytimestä. Sivukvanttiluku l puolestaan osoittaa alikuoren orbitaalin ja magneettinen kvanttiluku m sen suuntautuneisuuden avaruudessa. Sivukvanttiluku voi saada arvoja 0:sta n −1:een, ja magneettinen kvanttiluku kokonaislukuarvoja välillä $-l, \ldots 0, 1, \ldots +l$.

Koska jokaisella orbitaalilla on kaksi elektronia, tarvitsemme niiden erottamiseen toisistaan vielä neljännen kvanttiluvun, spinin. Tämä spinkvanttiluku s kuvaa elektronin pyörimistä akselinsa ympäri ja voi saada arvot +½ tai −½.

Pääkvanttiluku *n*	1	2	3	4
Sivukvanttiluku *l*	0	0,1	0, 1, 2	0, 1, 2, 3
Nimi	1s	2s, 2p	3s, 3p, 3d	4s, 4p, 4d, 4f

= Syventävä tieto

E **Esimerkki**

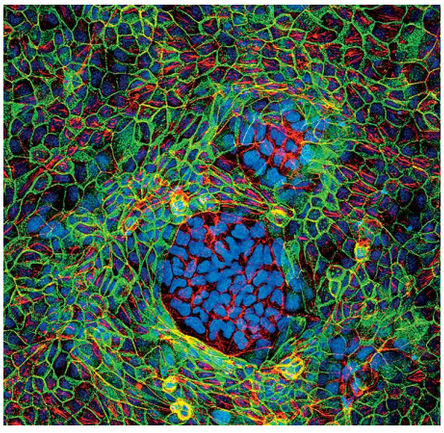
Kolmannella kuorella on kolme alikuorta: 3s, 3p ja 3d.

- s-alikuorella on 1 orbitaali, joten sillä voi olla 2 elektronia.
- p-alikuorella on 3 orbitaalia, joten sillä voi olla 6 elektronia (3 x 2).
- d-alikuorella on 5 orbitaalia, joten sillä voi olla 10 elektronia (5 x 2).

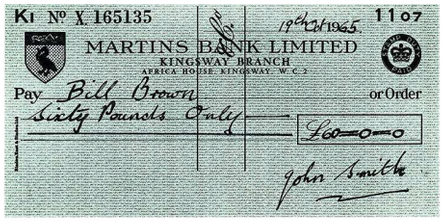
Eli kolmannella kuorella voi olla yhteensä 2 + 6 + 10 = 18 elektronia.

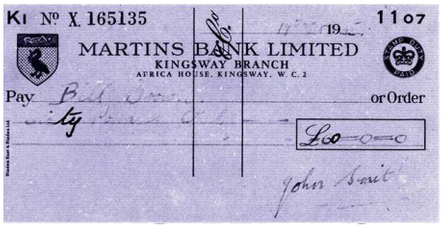
✔ Osaatko?

a. Mikä merkintä on alikuorella, jolla $n = 5$ ja $l = 1$?
b. Kuinka monta orbitaalia tällä alikuorella on?
c. Mitkä m_l:n arvot nämä orbitaalit saavat?



Kudosnäytteessä, joka on värjätty fluoresoivalla väriaineella, näkyvät syöpäsolut sinisinä.





UV-valon avulla voidaan tunnistaa raha- ja taideväärennöksiä.

Luminesenssi on viritystilan purkautumista valona

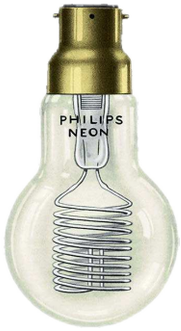
Luminesenssi on ilmiö, jossa atomin viritystila purkautuu, ja elektroni palaa alemmalle energiatasolle vapauttaen ylimääräisen energian valona. Useimmiten atomin tai molekyylin viritystilan aiheuttaa esimerkiksi valo, ultraääni tai voimakas sähkökenttä. Luminesenssi-ilmiö jaotellaan alalajeihin viritystilan muodostumistavan mukaan. **Fluoresenssilla** tarkoitetaan joidenkin materiaalien kykyä loistaa pimeässä, kun niitä valaistaan ihmissilmälle näkymättömällä UV-valolla (ks. Työ 6). Loiste sammuu heti, kun energialähde sammutetaan. **Fosforesenssissa** atomin viritystila purkautuu viiveellä jatkuen joskus jopa tunteja. Tästä esimerkkeinä ovat pimeässä loistavat lelut ja kellon viisarit, jotka näkyvät vielä pitkään valonlähteen sammuttamisen jälkeen. **Kemiluminesenssissa** valoilmiö liittyy kemiallisessa reaktiossa tapahtuviin energianmuutoksiin, josta **bioluminesenssi** on luonnossa tapahtuva erityistapaus.

Värillisyys

Useat siirtymämetallien yhdisteet ovat värillisiä. Esimerkiksi kupari(II)-ionin sininen väri johtuu siitä, että sen *d*-orbitaalilla oleva elektroni siirtyy valonsäteilyn vaikutuksesta korkeampaan energiatilaan. Tämä energiaero vastaa oranssin valon energiaa, joka absorboituu. Näemme siitä syystä kupari(II)-ionin vesiliuoksen sinisenä. Tutustumme siirtymämetalleihin tarkemmin luvussa 8.

D Demonstraatio

Otetaan neljään eri koeputkeen hieman Cu(II)-, Co(II)-, Fe(III)- ja Ni(II)suolaa. Lisätään putkiin niin paljon vettä, että suolat liukenevat. Havainnoidaan eri liuosten värillisyys ja pohditaan, mistä värierot johtuvat.



Daniel McFarlan Moore kehitti tämän nykyisten neonvalojen edeltäjän televisioiden valolähteeksi.

Neonkyltit ovat saaneet nimensä alkuperäisen kaasupurkauslampun kaasusta neon, joka antaa oranssin valon. Muita värejä saadaan vaihtamalla kaasua. Hiilidioksidi antaa valkoista, elohopea sinistä ja vety punaista väriä.

Elektronien liikkeestä valoa

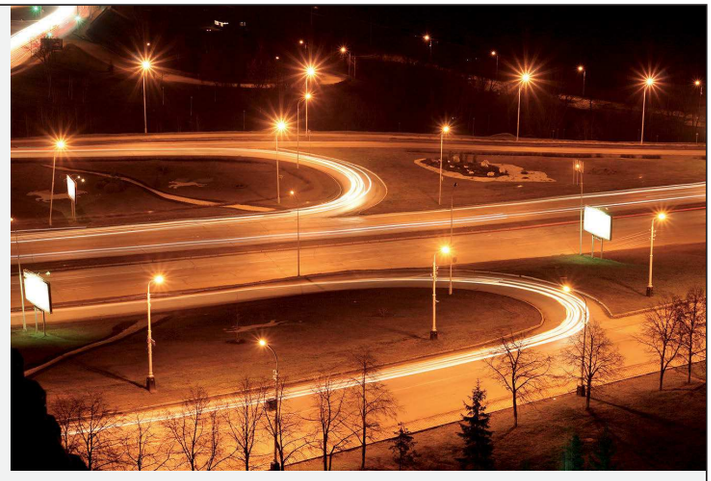
Elektronien viritystilan purkautuessa vapautuvaa sähkömagneettista säteilyä hyödynnetään laajasti esimerkiksi valaistuksessa ja erilaisissa näytöissä. Tutuimpia näistä ovat loistelamput. Loisteputki sisältää elohopeaa, joka höyrystyy. Elohopean elektronit virittyvät ja emittoivat niille ominaista ultraviolettivaloa. Lampun sisäpintaan on kiinnitetty loisteainetta, joka muuttaa ultraviolettivalon näkyväksi valoksi. Loisteaineita vaihtamalla on mahdollista saada eriväristä valoa.

LED: seuraavan sukupolven lamppu

LED on lyhenne englannin kielen sanoista Light Emitting Diode. Se on puolijohdekomponentti, joka säteilee valoa, kun sen läpi johdetaan sähkövirtaa. Ledin valmistuksessa käytetään usein puolimetallin, galliumin yhdisteitä. Valmistusmateriaali ja käytetyt lisäkalvot ja pinnoitteet määräävät LED-valon värin. Alkuun LEDejä käytettiin lähes yksinomaan elektronisten laitteiden merkkivaloina. Infrapunasäteilyä emittoivia LEDejä käytettiin lähinnä kaukosäätimissä. Valkoisen ledin kehittämisen jälkeen ledit ovat alkaneet syrjäyttää muita valaistukseen käytettäviä lamppuja.

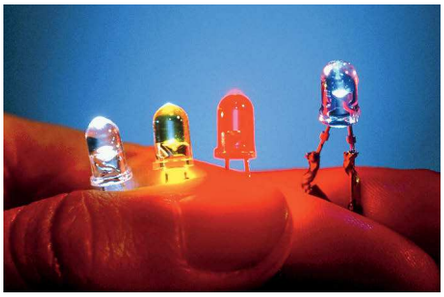
Katulampun kemiaa

Suuri osa katulampuista on suurpainenatriumlamppuja, jotka valaisevat voimakkaalla keltaoranssilla valolla. Paine lampun sisällä on nimestä huolimatta huomattavasti ulkopuolista ilmanpainetta alhaisempi. Lampuissa on pieni määrä metallista natriumia, joka höyrystetään lampun syttyessä. Höyrystyneen natriumin läpi johdetaan sähkövirta, joka siirtää natriumin elektronin korkeammalle energiatasolle. Sanomme, että atomi virittyy. Virittyneessä tilassa oleva atomi ei jaksa ylläpitää tätä tilaa kauan, vaan se palaa perustilaansa. Elektroni putoaa takaisin alkuperäiselle energiatasolle ja samalla vapautuu energiaa valona fotonin muodossa. Jos johdat tämän valon prisman läpi, huomaat, että valo koostuu muutamasta terävästä viivasta. Näistä erityisesti kaksi, noin 600 nm:n alueella olevaa viivaa, ovat erityisen voimakkaita. Tämä alue on juuri oranssin valon aluetta.



HARJOITUSTEHTÄVÄT

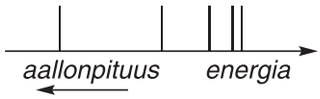
Sy Syventävät



Valkoisen ledin kehittäjälle Shuji Nakamuralle myönnettiin Millennium-teknologiapalkinto vuonna 2006.

47. Sanotaan, että atomit ovat orbitaaleilla.
- **a.** Mitä tarkoitetaan orbitaaleilla?
- **b.** Mitä tarkoitetaan atomin perustilalla?
- **c.** Mitä tarkoitetaan atomin virittyneellä tilalla?

48. Oheinen viivadiagrammi esittää vedyn emissiospektriä.
- **a.** Miksi spektri on viivaspektri eikä jatkuva spektri?
- **b.** Miksi viivat lähestyvät toisiaan spektrin oikealla puolella



49. Selitä seuraavat käsitteet lyhyesti.
- **a.** energiataso
- **b.** sivukvanttiluku
- **c.** spinkvanttiluku
- **d.** emissio
- **e.** fluoresenssi

50. Mikä ero on virittymisellä ja ionisoitumisella?

51. Miten hehkulampun ja loisteputken toimintaperiaatteet eroavat toisistaan? Mitä niillä on yhteistä?

R Ryhmätehtävät

R15. Vertailkaa KEMIAN näkökulmasta eri tapoja valaista. Ota huomioon myös ympäristönäkökohdat.

R16. Tutustukaa ilotulitteiden kemiaan.

R17. Selvittäkää atomiabsorbtiospektrometrin (AAS) toimintaperiaate ja käyttökohteita.

KOKEELLISUUS

T Työ 5 — Ulkoelektronien virittyminen: liekkikokeet

Aineet ja välineet
- HCl-liuosta (5 %)
- etanolia
- litiumkloridia LiCl(s)
- natriumkloridia NaCl(s)
- kaliumkloridia KCl(s)
- kalsiumkloridia $CaCl_2$(s)
- strontiumkloridia $SrCl_2$(s)
- bariumkloridia $BaCl_2$(s)
- kupari(II)kloridia $CuCl_2$(s)
- posliiniupokkaita tai alumiinikuppeja (tuikkukynttilän kuoria)
- muovilusikoita
- pasteurpipettejä
- kobolttilasi

Työn tarkoitus
Tässä työssä viritetään metalliatomien ulkoelektroneja lämmön avulla ja seurataan viritystilan purkautuessa syntyvää valoa.

Työn suoritus
1. Laita lusikankärjellinen tutkittavaa ainetta, noin 1 ml suolahappoa ja noin 1 ml etanolia upokkaan tai alumiinikupin pohjalle.
2. Sytytä seos palamaan. Havainnoi ja taltioi kuvaamalla liekkien värit. Kaliumin tunnusomainen liekkiväri näkyy parhaiten kobolttilasin läpi.

Tulosten käsittely
Taulukoi työn tulokset ja vertaa liekkien värejä taulukkokirjan liekkiväreihin.

Työhön liittyviä tehtäviä
1. Miksi liekin väriä ei voi havaita heti liuoksen sytyttämisen jälkeen?
2. Miksi liekin väri on erilainen eri alkuaineilla?
3. Mitä näkyvän valon aallonpituutta kunkin liekin väri vastaa?

T Työ 6 — Rikoslaboratorio: Verijälkien tunnistaminen

Aineet ja välineet
- luminolia
- NaOH-liuosta (2,0 mol/l)
- 3 % vetyperoksidia (H_2O_2)
- vettä
- verisiä vaatteita
- vaaka
- pipettejä
- 100 ml:n mittalasi
- 5 ml:n mittalasi

Työn tarkoitus
Työssä tutkitaan vaatekappaleista tahroja ja osoitetaan kemiallisen luminesenssin avulla veritahrat muista tahroista.

Työn suoritus
1. Valmista luminol-liuos: liuota 100 mg luminolia 100 ml:aan vettä suljettavassa astiassa. Lisää liuokseen 5 ml natriumhydroksidiliuosta (NaOH).
2. Pimennä luokkatila. Pipetoi samanaikaisesti luminol-liuosta ja 3 % vetyperoksidia tutkittavan näytteen päälle niin, että liuokset sekoittuvat. Havainnoi ja kuvaa tulokset.

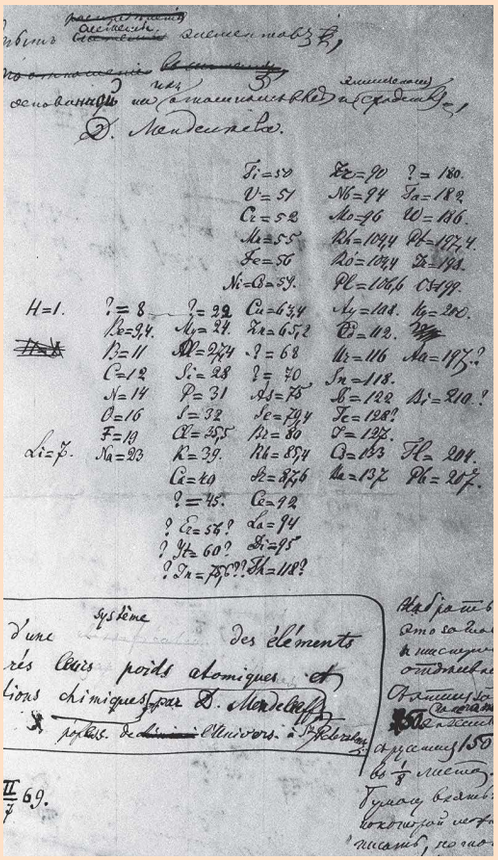
Työhön liittyvä tehtävä
Etsi esimerkkejä kemiallisesta ja biologisesta luminesenssista.

8 Jaksollinen järjestelmä

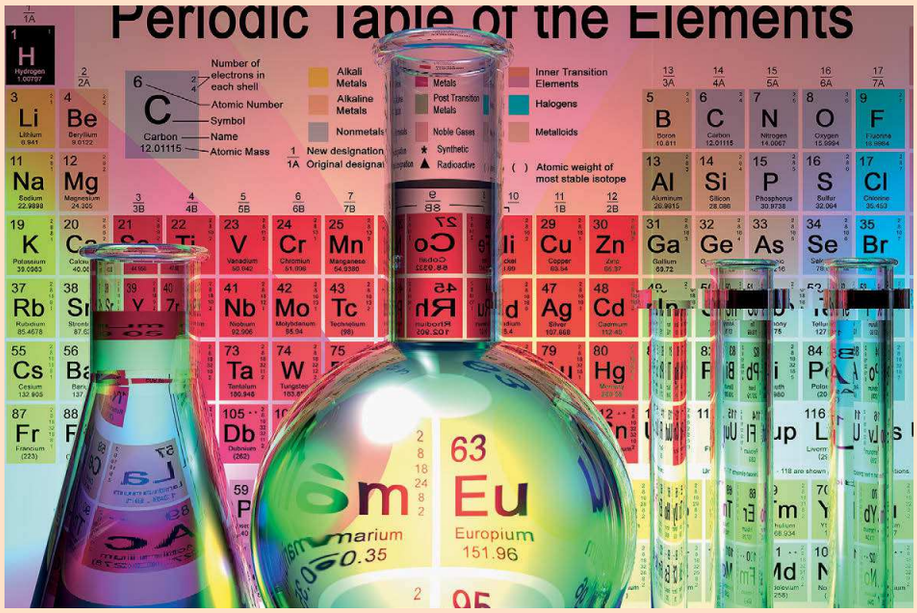
! Luvun sisällys

- **Jaksollisen järjestelmän historia**
- **Jaksollisen järjestelmän rakenne**
- **Jaksollinen järjestelmä on kemistin ensimmäinen käsikirja**

Jokaisella alkuaineella on kemiallinen merkki. Kullan kemiallinen merkki on Au.



Dmitri Mendelejevin ensimmäinen jaksollinen järjestelmä.



Jaksollisessa järjestelmässä alkuaineet on järjestetty elektronirakenteensa mukaisesti ryhmiin ja jaksoihin.

→ Osaat jo…

- Tunnistat erilaisia alkuaineita ja tunnet niiden ominaisuuksia.
- Atomin rakenteesta opit kappaleissa 6 ja 7.
- Aiemmin peruskoulussa tutustuit myös jaksolliseen järjestelmään.

↓ Opiskelet nyt…

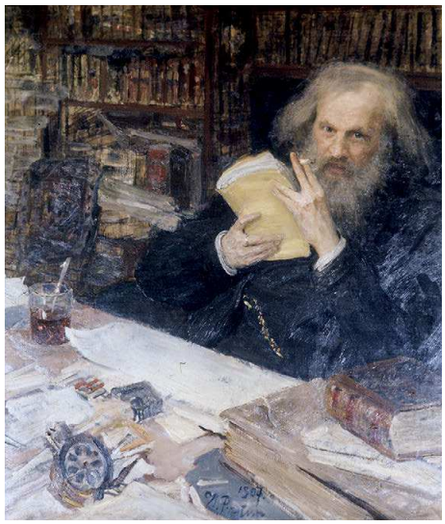
- Tässä kappaleessa opiskelet jaksollisen järjestelmän historiaa.
- Opit tuntemaan jaksollisen järjestelmän rakennetta tarkemmin ja tunnistat alkuaineryhmien yhteisiä ominaisuuksia.

Opiskelet myöhemmin… →

- Kappaleessa 9 tutustut alkuaineiden jaksollisiin ominaisuuksiin.
- Myöhemmissä luvuissa opit soveltamaan jaksollisen järjestelmän ominaisuuksia kemiallisiin sidoksiin.

Li							
Na				P	S	Cl	
K	Ca			As	Se	Br	
	Sr			Sb	Te	I	
	Ba						

Döbereinerin triadit
Triadeja muodostavat esimerkiksi litium (Li), natrium (Na) ja kalium (K). Döbereiner havaitsi myös, että kolmikon keskimmäisen alkuaineen ominaisuudet voitiin päätellä kahden muun kemiallisten ominaisuuksien perusteella.



Dmitri Mendelejev

Jaksollisen järjestelmän historiaa

Luokittelu oli ensimmäinen askel aineen ymmärtämiseen. Ihminen oppi erottelemaan toisistaan kasvit ja eläimet, kiven ja veden. Hän oppi myös luokittelemaan niitä erilaisten ominaisuuksien perusteella esimerkiksi kiinteisiin ja nestemäisiin, elollisiin ja elottomiin, syötäviin ja syötäväksi kelpaamattomiin. 1800-luvun puoliväli oli suurta luokittelun aikaa.

Aluksi kemistit yrittivät järjestää aineita suhteellisten atomimassojen mukaan, koska he eivät tienneet atomien koostuvan pienemmistä osasista eli protoneista, neutroneista ja elektroneista. Nykyisin käytössä oleva alkuaineiden jaksollinen järjestelmä luetteloi alkuaineet niiden ytimessä olevien protonien lukumäärän eli kasvavan järjestysluvun mukaan.

Ranskalainen kemisti ja valtiomies **Antoine Lavoisier** järjesti aineita niiden ominaisuuksien mukaan kaasuihin, epämetalleihin, metalleihin ja maa-aineisiin (earths) jo vuonna 1789. Vasta 40 vuotta myöhemmin, vuonna 1829 saksalainen kemisti **Johann Döbereiner** havaitsi, että alkuaineet muodostivat kemiallisilta ominaisuuksiltaan samankaltaisia kolmen aineen ryhmiä, triadeja.

Vuonna 1864 saksalainen **Lothar Meyer** julkaisi luokituksen, jossa pääryhmien 28 alkuainetta oli järjestetty sen mukaan, kuinka monta muuta atomia voi sitoutua kyseiseen alkuaineeseen. Neljä vuotta myöhemmin kaikki silloin tunnetut 56 alkuainetta oli sijoitettu tähän luokitukseen. Meyer järjesti alkuaineet niiden kasvavan atomipainon mukaan siten, että samalla pystyrivillä olevilla aineilla on samanlainen kyky sitoutua toisiin alkuaineisiin.

Englantilainen **John Newlands** oli samoihin aikoihin ensimmäinen, joka huomasi, että atomien samankaltaiset ominaisuudet toistuvat kahdeksan alkuaineen välein. Koska jalokaasuja ei vielä tuolloin tunnettu, aikalaiset eivät uskoneet Newlandsia, eikä hänen töitään hyväksytty julkaistavaksi. **Dmitri Ivanovitš Mendelejev** oli kolmikosta ensimmäinen, joka onnistui julkaisemaan työnsä tulokset vuonna 1869.

Henry Moseley

Jaksollinen järjestelmä saa tieteellisen perustan

Mendelejev oli ensimmäinen, joka huomioi sekä atomimassan että alkuaineiden kemialliset ominaisuudet. Hän piti alkuaineen ominaisuuksia atomimassaa merkittävämpänä luokittelun perusteena. Täten taulukkoon syntyi aukkoja, joiden avulla hän pystyi ennustamaan silloin tuntemattomien aineiden ominaisuuksia. Kun puuttuvia alkuaineita alkoi löytyä ja Mendelejevin ennustusten voitiin todeta pitävän paikkansa, taulukkoa alettiin pitää ilmiömäisenä ja kemistit innostuivat siitä ympäri maailmaa. Nykyiset jaksolliset järjestelmät pohjautuvat pitkälti Mendelejevin vuonna 1869 laatimaan taulukkoon.

Vasta vuonna 1913, kuusi vuotta Mendelejevin kuoleman jälkeen, jaksollisen järjestelmän palapelin viimeinen pala saatiin paikalleen. Tuolloin englantilainen **Henry Moseley** hyödynsi hiljattain keksittyä röntgensäteilyä ja osoitti oikeaksi Mendelejevin esittämän järjestyslukuun perustuvan jaksollisen järjestelmän.

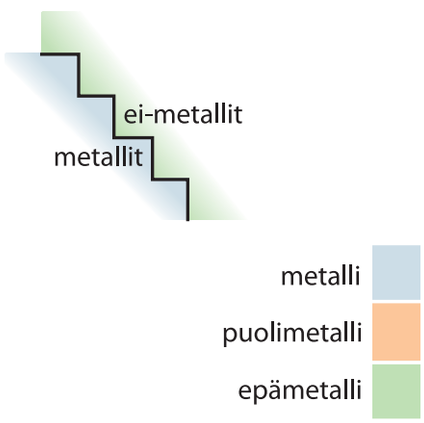
Th Tiedonhankintatehtävät

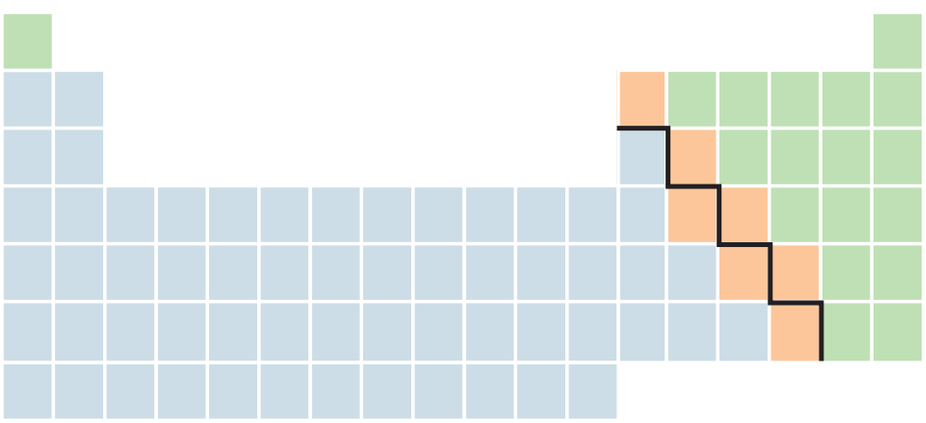
T5 Jaksollisen järjestelmän kehityksen vaiheita. Tutkikaa tarkemmin jaksollisen järjestelmän historiaa. Mitä muuta tapahtui maailmassa samoihin aikoihin?

Jaksollisen järjestelmän rakenne

Olemme jo peruskoulussa oppineet, että alkuaineet jaetaan kolmeen luokkaan: metallit, epämetallit ja puolimetallit. Edellisessä luvussa (7) opimme rakentamaan atomin sen järjestysluvun mukaan.

Tässä luvussa tutustumme jaksollisen järjestelmän rakenteeseen tarkemmin. Opimme myös, että alkuaineet sijoittuvat järjestelmässä paikoilleen nimenomaan niiden kemiallisten ominaisuuksien mukaisesti.



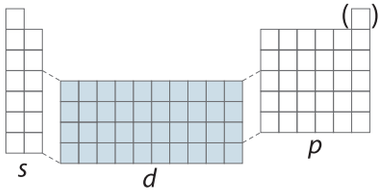


JAKSO
Jaksollisen järjestelmän vaakarivejä kutsutaan **jaksoiksi**. Jaksot numeroidaan 1–7. Ensimmäisessä jaksossa on vain kaksi alkuainetta vety (H) ja helium (He).

Pääryhmien muissa jaksoissa on jokaisessa kahdeksan alkuainetta.
Siirtymämetallien jaksoissa on 10 tai 24 alkuainetta.

OKTETTI
Atomin uloimmalla kuorella on 8 elektronia. Tämä on energian kannalta suotuisin rakenne.

!

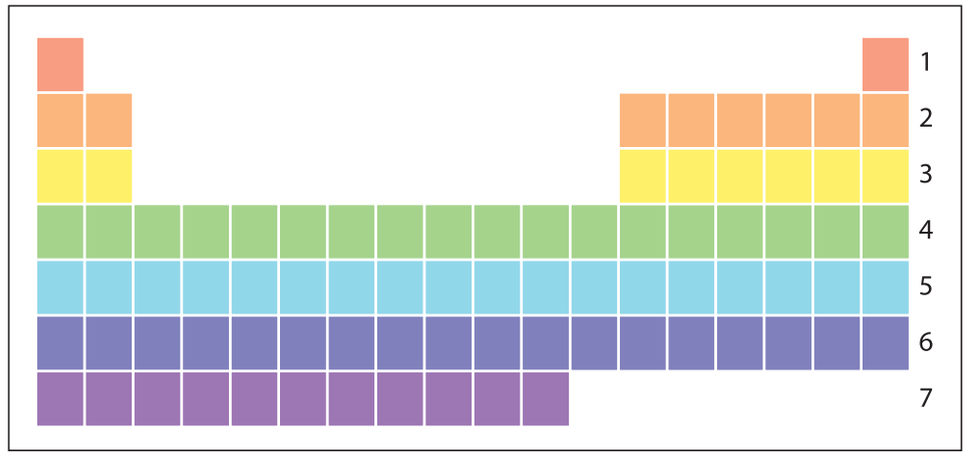


Jaksollinen järjestelmä voidaan esittää myös lohkoina eli blokkeina.
Huomaa: Aikaisemmin suomen kielessä siirtymämetalleja (lohkot *d* ja *f*) kutsuttiin sivuryhmiksi erotuksena pääryhmistä.

Alkuaineiden ryhmittely jaksollisessa järjestelmässä

Nykyisin käytössä oleva jaksollinen järjestelmä perustuu järjestyslukuihin ja se on laadittu kvanttimekaanisen atomimallin perusteella. Alkuaineet asettuvat vaakariveihin kasvavan järjestysluvun mukaisesti. Näitä vaakarivejä kutsutaan jaksoiksi, koska vaakariviltä siirrytään seuraavalle, kun alkuaineen uloin energiataso on täyttynyt elektroneilla.

Jakson numero kertoo, kuinka monella energiatasolla perustilassa olevalla atomilla on elektroneja. Alkuaineella, jolla on kahdeksan elektronia uloimmalla kuorellaan (jalokaasun elektronikonfiguraatio), on oktetti eli kahdeksan elektronia uloimmalla kuorellaan. Ensimmäisessä jaksossa ensimmäiselle energiatasolle mahtuu vain kaksi elektronia.



Siirtymämetallit sijoittuvat jaksollisessa järjestelmässä pääryhmien väliin

Alkuaineiden sijoittuminen kahdeksan aineen ryhmiin rajoittuu **pääryhmien** alkuaineisiin. Siirtymämetallit alkavat jaksossa neljä alkuaineesta 21, skandium (Sc), heti kalsiumin (Ca) jälkeen. Ne sijoittuvat pääryhmien 2 ja 13 väliin. Kaikki siirtymämetallit ovat metalleja ja niiden elektronikuorien täyttymistä määräävät eri säännöt kuin pääryhmien alkuaineilla. Jaksollinen järjestelmä jaetaan myös *s*, *p*, *d* ja *f* -lohkoihin eli blokkeihin niiden alkuaineiden korkeaenergisimmän orbitaalin mukaan.

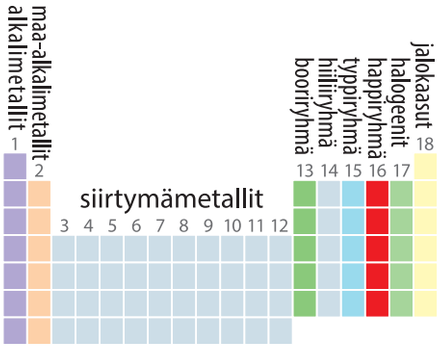
RYHMÄ
Jaksollisen järjestelmän pystysarakkeita kutsutaan **ryhmiksi**.
Ryhmät jaetaan **pääryhmiin** ja **siirtymämetalleihin**.
Ryhmät numeroidaan 1–18, joista 1, 2 ja 13–18 ovat pääryhmiä ja 3–12 ovat siirtymämetalleja.

Ryhmässä kaikilla alkuaineilla on sama uloimman energiatason miehitys

Jaksollisuudesta seuraa, että allekkain olevilla alkuaineilla on sama määrä elektroneja uloimmalla elektronikuorella. Näin muodostuvia pystysarakkeita kutsutaan ryhmiksi. Kunkin ryhmän alkuaineet ovat kemiallisilta ominaisuuksiltaan melko samankaltaisia. Pääryhmän ykkösiä osoittavasta numerosta voidaan päätellä, kuinka monta ulkoelektronia atomilla on ja miten se todennäköisimmin reagoi. Koska tietyn ryhmän alkuaineet reagoivat samankaltaisesti, niiden kemiallisten yhdisteiden rakenteetkin ovat samantyyppisiä. Pääryhmien alkuaineet pyrkivät saamaan lähimmän jalokaasun elektronirakenteen.

? Pohdi

Kumpi on kemistille tärkeämpi työkalu, jakson vai ryhmän numeron tunteminen? Miksi?



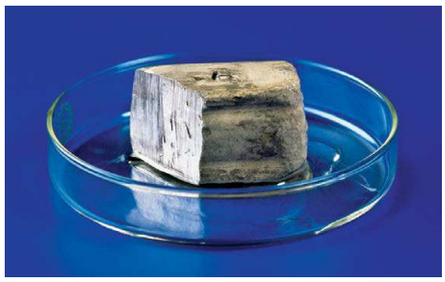
Ryhmillä on nimet

Kaikilla pääryhmillä on nimi. Ryhmät 1 ja 2, joissa on vain metallisia alkuaineita, on nimetty niiden alkuaineiden kemiallisten ominaisuuksien mukaisesti alkalimetalleiksi ja maa-alkalimetalleiksi. Ryhmästä 13 eteenpäin nimeäminen perustuu ryhmän ensimmäiseen alkuaineeseen: booriryhmä 13, hiiliryhmä 14, typpiryhmä 15, happiryhmä 16. Kaksi viimeistä ryhmää nimetään jälleen niiden ominaisuuksien mukaan: ryhmä 17 on halogeenit ja ryhmä 18 jalokaasut. Jalokaasut ovat saaneet nimensä siitä, etteivät ne oktettirakenteensa vuoksi juuri koskaan reagoi muiden alkuaineiden kanssa.

✔ Osaatko?

Etsi jaksollisesta järjestelmästä, missä sijaitsee se alkuaine, joka on

a. jalokaasu, jolla on sama elektronirakenne kuin Na^+-kationilla
b. epämetallin anioni, jonka varaus on –3 ja jolla on tällöin jalokaasun elektronirakenne
c. pienin maa-alkalimetalli
d. kolmannen jakson painavin metalli.



Natrium on alkalimetalli.

! Sana alkali tulee arabiankielisestä sanasta al-qaly (meriotakilokin tuhka). *Salsola kali* (synon. *Kali turgida*) kasvia poltettiin, jotta saatiin soodaa (ruotsiksi sodaört).

Magnesium kuuluu maa-alkalimetalleihin.

Boori (vasemmalla) on ryhmään 13 kuuluva puolimetalli. Alumiini on samaan ryhmään kuuluva tärkeä käyttömetalli.

! Alumiinista valmistettuja keittoastioita ei suositella käytettäväksi happamien ruokien valmistukseen, koska niistä saattaa liueta alumiinia. Alumiini-ionit voivat kerääntyä hermokudokseen, mikä on ajan myötä haitallista.

Ryhmillä on omat kemialliset ominaisuutensa

Tutustuimme jo kappaleissa 3–5 ihmiskunnalle tärkeisiin alkuaineisiin ja niiden yhdisteisiin. Tiettyyn ryhmään kuuluvat alkuaineet edustavat omaa ryhmäänsä. Niillä on samankaltaisia kemiallisia ominaisuuksia, ja ne reagoivat samalla tavalla sekä muodostavat samankaltaisia kemiallisia yhdisteitä.

Alkalimetallit esiintyvät luonnossa yhdisteinä

Ensimmäisen pääryhmän metalliset alkuaineet Li, Na, K, Rb ja Cs reagoivat hyvin helposti ilman hapen ja veden kanssa. Niiden reaktiossa veden kanssa syntyvä liuos on emäksinen eli alkalinen. Ne luovuttavat helposti ainoan ulkoelektroninsa. Tästä syystä alkalimetalleja ei luonnossa löydy vapaina alkuaineina, vaan aina yhdisteinä. Alkalimetalleja tulee säilyttää öljyssä, jotta ilman happi ja kosteus eivät pääse reagoimaan niiden kanssa.

Maa-alkalimetallit ovat maankuoren metalleja

Toisen pääryhmän alkuaineet Be, Mg, Ca, Sr, Ba ja Ra reagoivat ensimmäisen pääryhmän tavoin muodostaen emäksisiä liuoksia. Ryhmän alkuaineita ei esiinny vapaana luonnossa, vaan ionimuodossa monissa mineraaleissa ja merivedessä. Niiden reaktiot eivät ole yhtä kiivaita kuin alkalimetallien. Olet tutustunut jo peruskoulussa magnesiumin ominaisuuksiin: se reagoi helposti happojen kanssa ja palaa kirkkaalla liekillä, mutta reaktio veden kanssa on hyvin hidas.

Booriryhmän tärkein alkuaine on alumiini

Ryhmässä 13 on yksi puolimetalli, boori B. Muut ryhmän alkuaineista ovat metalleja: Al, Ga, In ja Tl. Kaikilla on kolme ulkoelektronia jotka ne mielellään luovuttavat reagoidessaan muiden alkuaineiden kanssa. Tässä ryhmässä alumiini on ehdottomasti tärkein alkuaine. Sen käyttöön ja yhdisteisiin tutustuimme jo luvussa 4 Maankuoren aineet. Ryhmän 13 alkuaineilla on erilaisia biologisia tehtäviä ekosysteemissä. Vain alumiini käyttäytyy poikkeavasti ryhmän muihin alkuaineisiin verrattuna. Se ei ole elämälle tarpeellinen, mutta voi aiheuttaa happamassa maaperässä kasvituhoja.

Hiilen eri muotoja

Hiiliryhmä

Yli 90 % maailman kemiallisista yhdisteistä sisältää hiiltä, C. Hiiliryhmä on keskellä jaksollista järjestelmää ja juuri sen kohdalla näkyy, kuinka ryhmien erilaiset kemialliset ominaisuudet muuttuvat vähitellen, kun siirrytään jaksollisen järjestelmän reunasta toiseen. Hiiliryhmässä eli ryhmässä 14 on kaikkein vähiten yhteisiä ryhmäominaisuuksia. Alkuaineista C on epämetalli, Si ja Ge ovat puolimetalleja ja Sn sekä Pb metalleja.

Luusto on kalsiumfosfaattia.

Typpiryhmä ja happiryhmä sisältävät elämän alkuaineita

Elämän kemia perustuu hiileen, mutta kaikilla hiiliyhdisteillä ei ole tehtävää kasveissa tai eläimissä. Myös ryhmien 15, typpiryhmä ja 16, happiryhmän alkuaineita N ja P sekä O ja S esiintyy lähes kaikissa elämän yhdisteissä. Suurin osa näiden ryhmien alkuaineista on epämetalleja, jotka muodostavat yhdisteitä jakamalla elektroniparin tai useampia. Tähän tutustumme tarkemmin luvussa 12 Kovalenttinen sidos.

Jodi, joka kuvassa sublimoituu, on huoneenlämmössä kiinteä halogeeni.

Halogeeniryhmä on saanut nimensä kyvystään muodostaa suoloja

Halogeenit eli suolanmuodostajat reagoivat herkästi metallien kanssa ja muodostavat suolayhdisteitä, koska niiden uloimman kuoren elektronirakenteesta puuttuu vain yksi elektroni. Vapaina alkuaineina halogeenit esiintyvät aina kaksiatomisina molekyyleinä. Halogeeneista fluori ja kloori ovat alkuainemuodossa kaasuja, bromi neste ja jodi kiinteä.

Jalokaasut eivät muodosta yhdisteitä muiden alkuaineiden kanssa

Jalokaasuilla on uloimmalla elektronikuorella kahdeksan (tai heliumilla kahden) elektronin stabiili eli pysyvä rakenne. Siksi ne eivät mielellään muodosta yhdisteitä muiden alkuaineiden kanssa. Ne esiintyvät luonnossa yksiatomisina kaasuina.

Neonvalot ovat saaneet nimensä jalokaasu neonin mukaan.

Siirtymämetallit ovat jaksollisen järjestelmän kapinallisia

Kaikki siirtymämetallit ovat ryhmän nimen mukaisesti metalleja. Niiden elektronikuorien täyttymiseen eivät sovi samat säännöt kuin pääryhmien metalleihin. Siirtymämetalleilla ei myöskään ole yhtä selkeitä ryhmän ominaisuuksia kuin pääryhmien alkuaineilla.

Jaksollinen järjestelmä on kemistin ensimmäinen käsikirja

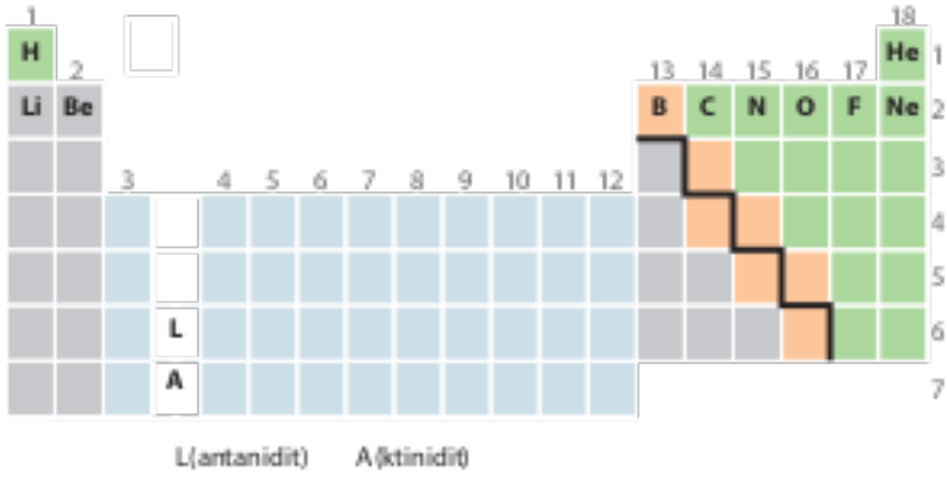
METALLIEN OMINAISUUKSIA
– korkeat sulamispisteet
– sähkön- ja lämmönjohtokyky
– muokattavuus
– suuri valonheijastuskyky (metallin kiilto)
– luovuttavat elektroneja kemiallisessa reaktiossa

EPÄMETALLIEN OMINAISUUKSIA
– esiintyvät huoneenlämmössä kaikissa olomuodoissa
– johtavat huonosti sähköä ja lämpöä
– muodostavat yhdisteitä useilla hapetusluvuilla

METALLIT
Suurin osa alkuaineista on metalleja: pääryhmien metallit ja siirtymämetallit.

PUOLIMETALLIT
Ryhmissä 13–17 on alkuaineita, joilla on sekä metallisia että epämetallisia ominaisuuksia. Näitä kutsutaan puolimetalleiksi.

EPÄMETALLIT
Vetyä lukuunottamatta epämetallit sijaitsevat jaksollisen järjestelmän oikeassa ylälaidassa.



HARJOITUSTEHTÄVÄT

P Perustehtävät

52. Mikä on sen alkuaineen nimi, joka kuuluu
a. 2. jaksoon ja kolmanteen ryhmään
b. 4. jaksoon ja happiryhmään
c. 3. jaksoon ja jolla on 5 ulkoelektronia
d. 14. ryhmään ja jolla on elektroneja neljällä energiatasolla
e. siirtymämetalleihin ja jonka ytimessä on 76 protonia?

53. Mikä ryhmän 1 alkuaineista ei ole alkalimetalli? Miksi?

Sy Syventävät

54. Luokittele seuraavat alkuaineet A–F joko metalleiksi (m), puolimetalleiksi (p) tai epämetalleiksi (e). Kaikki aineet esiintyvät huoneenlämpötilassa 20 °C ja normaalissa ilmanpaineessa 1,01325 bar.
Alkuaine
A. on väritön kaasu
B. on ruskea neste
C. on kiinteä aine, joka palaa ilmassa
D. on keltainen kiinteä aine, joka murenee iskusta
E. on neste, joka johtaa sähköä
F. voi toimia puolijohteena

55. Tarkastele ryhmien 1, 2, 13, 15, 16 ja 17 alkuaineita. Anna jokaisesta ryhmästä esimerkkinä yksi alkuaine ja kirjoita siitä muodostuvan ionin kaava.

Th Tiedonhankintatehtävät

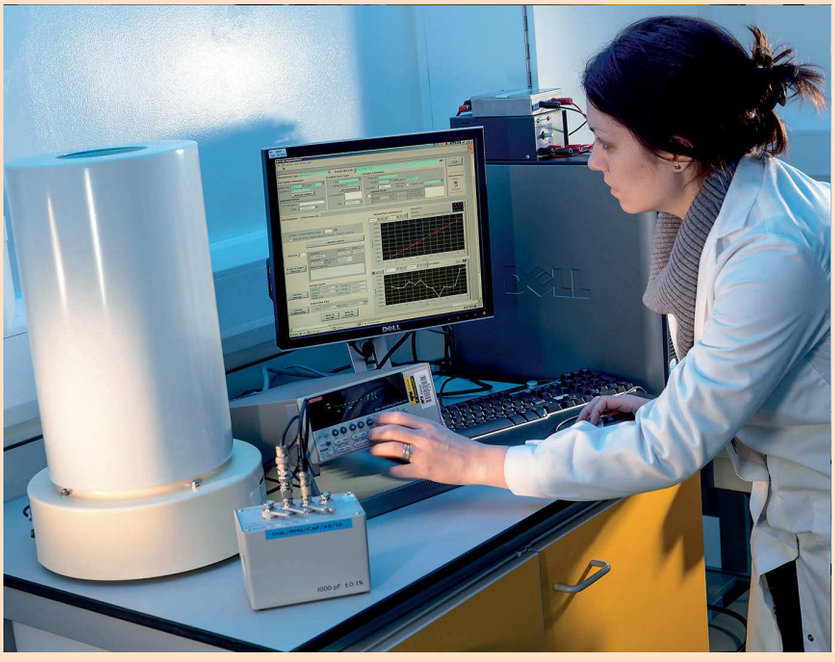
T6. Tutki tarkemmin jaksollisen järjestelmän jonkin ryhmän ominaisuuksia.

9 Jaksolliset ominaisuudet

! Luvun sisällys

- **Hapetusluku**
- **Atomisäde**
- **Ionisäde**
- **Ionisoitumisenergia**
- **Elektroniaffiniteetti**
- **Elektronegatiivisuus**

Saman ryhmän alkuaineilla on samanlaisia ominaisuuksia.



Atomisädettä voidaan mitata vain epäsuorasti.

Natrium palaa ilman hapessa.

→ Osaat jo…

- Joihinkin yhdisteisiin ja niiden ominaisuuksiin tutustuit jo luvussa 2.
- Atomin perusrakennekin on sinulla hallussa edellisen kappaleen jälkeen.
- Peruskoulussa opitun ja edellisen kappaleen avulla opit jaksollisen järjestelmän perusrakenteen.

↓ Opiskelet nyt…

- Alkuaineiden jaksollisen järjestelmän avulla voit päätellä, mitä sidoksia kukin alkuaine muodostaa.
- Ionin muodostumiseen ja kemiallisten sidosten laatuun vaikuttavia ominaisuuksia ovat ionisoitumisenergia, elektroniaffiniteetti ja elektronegatiivisuus.

Opiskelet myöhemmin… →

- Kemiallisissa reaktioissa atomien välillä katkeaa ja muodostuu kemiallisia sidoksia. Taipumus jakaa elektronipareja eli muodostaa kovalenttisia sidoksia voidaan selittää jaksollisen järjestelmän ominaisuuksilla.
- Kemiallisissa yhdisteissä on erilaisia sidoksia. Niihin perehdyt tarkemmin jaksoissa 3 ja 4.

Hapetusluku

Hapetusluku
on atomin luovuttama tai vastaanottama elektronimäärä.

Esimerkki: $MgCl_2$:ssa magnesiumin hapetusluku on +II ja kloorin –I

Alkuaineen hapetusluku on jaksollinen ominaisuus, koska se johtuu atomin ulkokuoren elektronirakenteesta. Alkuaineen **hapetusluku** ilmoittaa kuinka monta elektronia alkuaineen atomi on luovuttanut tai vastaanottanut joko kokonaan tai osittain yhdisteen muodostuessa. Alkuaineille, jotka esiintyvät useilla hapetusluvuilla, voidaan ainakin suurin ja pienin hapetusluku päätellä alkuaineen sijainnista jaksollisessa järjestelmässä. Hapetusluku on positiivinen, jos alkuaine on luovuttanut elektroneja ja negatiivinen, jos se on vastaanottanut elektroneja. Vapaan alkuaineen hapetusluku on nolla. Kovalenttisessa sidoksessa hapetusluku kuvaa varausta, jonka atomi voi saada molekyylissä, jos kunkin sidoksen elektronit annetaan sille atomille, joka vetää niitä enemmän puoleensa. Hapetuslukujen avulla voidaan tarkastella elektronien siirtymistä kemiallisissa reaktioissa. Hapetuslukua käytetään myös yhdisteiden nimeämiseen ja kemiallisten kaavojen kirjoittamiseen. Hapetusluku ilmoitetaan roomalaisin numeroin.

E Esimerkki — Miten määrität alkuaineen hapetusluvun?

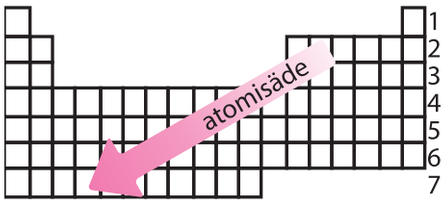
Perustele jaksollisen järjestelmän avulla, mitkä ovat litiumin Li ja hapen O hapetusluvut litiumoksidissa Li_2O?

Ratkaisu:
Li eli litium kuuluu ensimmäiseen pääryhmään, eli sillä on yksi ulkoelektroni. Se saa oktettirakenteen luovuttamalla yhden elektronin.
$Li \rightarrow Li^+ + e^-$
Siksi litiumin hapetusluku on +I.
Happi kuuluu ryhmään 16 eli kuudenteen pääryhmään, eli sillä on kuusi ulkoelektronia. Se saa oktettirakenteen vastaanottamalla kaksi elektronia.
$O + 2\ e^- \rightarrow O^{2-}$
Siksi hapen hapetusluku on –II.

✔ Osaatko?

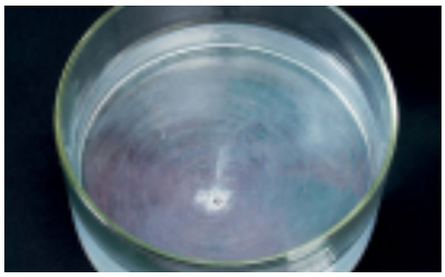
	K	Ca	Al
Br			
O			

a. Täydennä taulukkoon kunkin alkuaineen kohdalle sen muodostaman ionin varaus.
b. Kirjoita muodostuvan yhdisteen kaava. Muistithan, että kemiallinen yhdiste on sähköisesti neutraali eli ionien varaukset kumoavat toisensa.

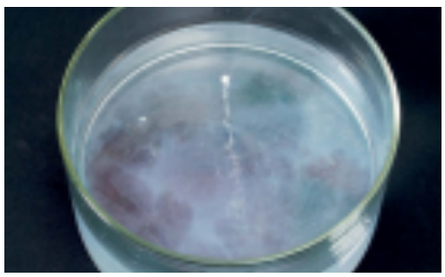


Atomisäde

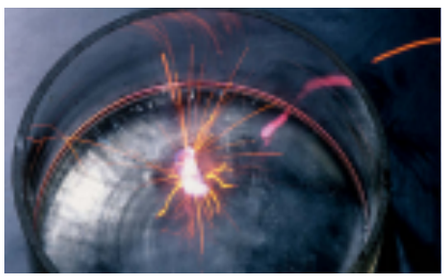
Atomin massa on keskittynyt sen ytimeen. Elektronin paikkaa radallaan on mahdoton määritellä täsmällisesti. Nämä tiedot eivät riitä atomin koon tarkkaan määrittelyyn. Onneksi ytimien välinen etäisyys voidaan saada selville kokeellisin menetelmin. Koska atomi voidaan kuvitella pallomaiseksi, saadaan **atomisäde** laskettua kahden ytimen välisestä etäisyydestä. Atomisäde kasvaa ryhmissä oikealta vasemmalle siirryttäessä, koska järjestysluvun kasvaessa ytimen kasvava protonimäärä vetää samalla elektronikuorella olevia elektroneja voimakkaammin puoleensa. Atomisäde kasvaa myös, kun samassa ryhmässä siirrytään jaksosta toiseen alaspäin. Tämä johtuu siitä, että ulkoelektronit asettuvat sitä kauemmaksi ytimestä mitä enemmän elektronikuoria atomissa on.



Litiumin reaktio veden kanssa on heikko.



Natrium reagoi veden kanssa voimakkaasti.



Kalium reagoi veden kanssa niin voimakkaasti, että se syttyy palamaan.

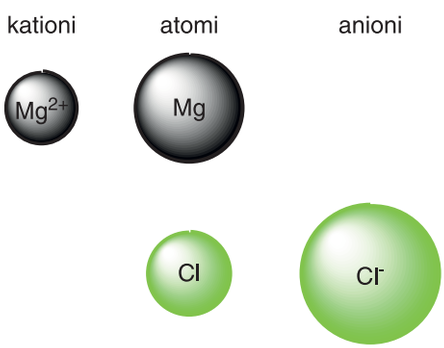
Atomikoon vaikutus reaktiokykyyn

Alkuaineen sijainti ryhmässä ja jaksossa ennustaa, kuinka helposti alkuaine reagoi. **Pääryhmien metalleilla atomikoon suureneminen merkitsee reaktiokyvyn kasvamista.** Ryhmässä alaspäin siirryttäessä elektronikuorien määrä kasvaa ja reagoivien ulkoelektronien vuorovaikutus ytimen kanssa heikkenee, kun etäisyys kasvaa. Mitä isompi atomi on eli mitä kauempana ulkoelektronit ovat atomiytimestä, sitä helpommin elektroni irtoavat ytimen vaikutuspiiristä.

Epämetallien reaktiokyky kasvaa, kun atomikoko pienenee. Mitä pienempi atomi on, sitä helpommin ylimääräinen elektroni asettuu uloimmalle elektronikuorelle.

Ionisäde

Kun elektroni irtoaa atomista, muodostuva **positiivinen kationi on aina kooltaan pienempi kuin sähköisesti varaukseton atomi**. Koska alkuaineen ydin säilyy ionin muodostuessa ennallaan, ytimen protonit vetävät kationiin jäljelle jääviä elektroneja puoleensa voimakkaammin kuin neutraalissa atomissa. Vastaavasti epämetallista muodostunut **negatiivisesti varautunut anioni on suurempi kuin sitä vastaava alkuaineatomi**.



D Demonstraatio

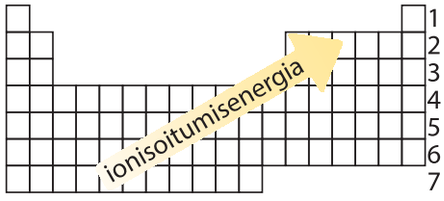
Leikataan veitsellä pieni pala metallista natriumia ja laitetaan se varovasti isoon astiaan, jossa on vettä. Päättele, mikä on natriumista syntyvä yhdiste. Mikä aine reaktiossa syttyy palamaan?

✔ Osaatko?

Selitä, miksi
Na:n reaktio veden kanssa ei ole yhtä kiivas kuin K:n
Na reagoi F:n kanssa helpommin kuin I:n kanssa
Cs:n ja F:n välinen reaktio on paljon kiivaampi kuin Li:n ja I:n
Li-atomin atomisäde on suurempi kuin N-atomin
K^+-ionin säde on pienempi kuin K-atomin säde
S^{2-}-ionin säde on suurempi kuin S-atomin säde.

Ionisoitumisenergia

Ionisoitumisenergia (joskus myös ionisaatioenergia) kuvaa sitä energiamäärää (kJ/mol), joka tarvitaan irrottamaan elektroni kaasumaisesta alkuaineatomista.



Muodostaakseen ionin alkuaineen on joko luovutettava tai vastaanotettava yksi tai useampi elektroni. Kun kaasumaisessa olomuodossa olevasta neutraalista atomista poistetaan yksi elektroni, tarvitaan energiaa, jota kutsutaan ensimmäiseksi **ionisoitumisenergiaksi**, E_i. Ionisoitumisenergia on positiivinen luku, koska elektronin irrottamiseen atomista tarvitaan energiaa. Tätä tapahtumaa kuvataan esimerkiksi litiumille (Li) seuraavalla reaktioyhtälöllä:

$Li(g) \rightarrow Li^+(g) + e^-$ $\quad\quad \Delta E = +519$ kJ/mol

Ensimmäisen ionisoitumisenergian arvo on alhaisin alkalimetalleilla, koska niillä on vain yksi elektroni uloimmalla kuorella. Tämän yhden elektronin irrottaminen tuottaa positiivisen ionin, jolla on jalokaasun rakenne. Ionisoitumisenergia on jaksollinen ominaisuus. Alkuaineen ionisoitumisenergian arvo pienenee siirryttäessä ryhmässä ylhäältä alaspäin. Muutos on samansuuntainen atomisäteen kanssa, joten ytimen vetovoima ulompiin elektronikuoriin heikkenee ja niillä olevat elektronit ovat helpommin irrotettavissa atomista.

!

$Na(g) \rightarrow Na^+(g) + e^-$
$\Delta E = +494$ kJ/mol
$Mg(g) \rightarrow Mg^+(g) + e^-$
$\Delta E = +740$ kJ/mol

Natriumin Na ja magnesiumin Mg ensimmäiset ionisoitumisenergiat.

!

$Na(g) \rightarrow Na^+(g) + e^-$
$\Delta E = +494$ kJ/mol
$Na^+(g) \rightarrow Na^{2+}(g) + e^-$
$\Delta E = +4\,560$ kJ/mol
$Na^{2+}(g) \rightarrow Na^{3+}(g) + e^-$
$\Delta E = +6\,940$ kJ/mol
…
$Na^{10+}(g) \rightarrow Na^{11+}(g) + e^-$
$\Delta E = +160\,000$ kJ/mol

Natriumin ionisoitumisenergiat. Katso tarkemmin taulukkokirjasta.

Ionisoitumiseen tarvitaan energiaa

Samassa jaksossa vasemmalta oikealle siirryttäessä alkuaineen ionisoitumisenergia kasvaa. Tämä johtuu kasvavasta ytimen positiivisesta varauksesta. Atomisädekin pienenee jaksossa vasemmalta oikealle.

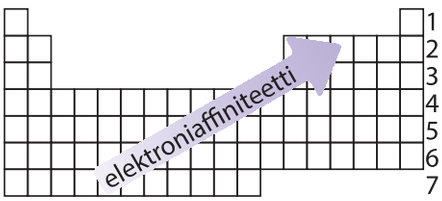
Kun elektroni irtoaa atomista, positiivisesti varautunut ydin vetää jäljelle jääviä elektroneja tiukemmin puoleensa. Tämän vuoksi seuraavien elektronien poistamiseen tarvitaan aina suurempi määrä energiaa.

? **Pohdi**

1. Pohdi ja perustele jaksollisen järjestelmän avulla, kummalla seuraavista on suurempi ensimmäinen ionisoitumisenergia.
   a. K vai Ca b. Rb vai Cs c. O vai F d. S vai Mg
2. Järjestä jaksolliseen järjestelmään perustuen seuraavat atomit kasvavan ensimmäisen ionisoitumisenergian mukaan: Sr, Cs, S, F, Ne. Tarkista vastauksesi taulukkokirjasta.
3. Onko olemassa alkuainetta, jolla toinen ionisoitumisenergia on pienempi kuin ensimmäinen? Perustele.

Elektroniaffiniteetti

Elektroniaffiniteetti on se energiamäärä (kJ/mol), joka vapautuu, kun kaasutilassa olevaan atomiin tai ioniin liittyy yksi elektroni.



Kun atomista irrotetaan elektroni, kuluu energiaa. Tästä syystä ionisoitumisenergioiden arvot ovat positiivisia. Toinen aineen elektronirakenteen pysyvyyttä kuvaava suure on **elektroniaffiniteetti**. Elektroniaffiniteetilla tarkoitetaan sitä energiamäärää (kJ/mol), joka vapautuu, kun kaasutilassa olevaan atomiin tai ioniin **liittyy** yksi elektroni. Kun tarkastellaan ryhmien 15–17 alkuaineita, voidaan ennustaa, että niille on edullisempaa saada lisää elektroneja uloimmalle kuorelleen kuin luovuttaa siellä jo olevia elektroneja pois kemiallisessa reaktiossa. Olemme aiemmin oppineet, että esimerkiksi kloori (Cl) muodostaa mieluummin negatiivisen Cl^- -ionin kuin antaa pois yhtään elektronia. Tapahtumaa, missä kloori vastaanottaa elektronin, kuvaa reaktioyhtälö

$Cl\,(g) + e^- \rightarrow Cl^-$ $\Delta E = -349$ kJ/mol

Negatiivinen lukuarvo kertoo siitä, että **elektronin sitoutuminen on suotuisa tapahtuma, jossa vapautuu energiaa**.

Ionisoitumisenergia vai elektroniaffiniteetti?

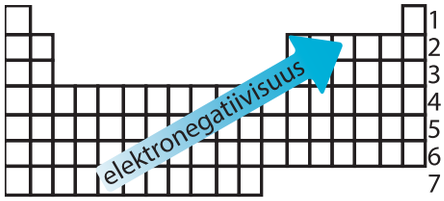
Elektroniaffiniteetti muuttuu jaksollisesti. Pääryhmien metalleilla (ryhmissä 1, 2 ja 13) se on hyvin alhainen. Halogeeneilla on sitä vastoin hyvin korkeat elektroniaffiniteettiarvot. Ryhmässä alaspäin siirryttäessä sitä vastoin muutos on hyvin pieni eikä noudata tarkasti jaksollisuutta.

On tärkeää ymmärtää ero ionisoitumisenergian ja elektroniaffiniteetin välillä: **ionisoitumisenergia kuvaa sitä helppoutta, jolla atomi luovuttaa elektronin, kun taas elektroniaffiniteetilla mitataan atomin tai ionin halukkuutta ottaa vastaan elektroni**.

? Pohdi

Selvitä, miksi energian vapautumista kuvataan negatiivisella energiamäärällä ja energian sitoutumista positiivisella energiamäärällä.

Elektronegatiivisuus kuvaa kemiallisesti sitoutuneen atomin kykyä vetää puoleensa sidoselektroneja kovalenttisessa sidoksessa.
Katso taulukkokirjasta.



Kovalenttinen sidos on yhteisellä elektroniparilla muodostettu sidos.

Elektronegatiivisuus

Toisin kuin muut jaksollisuuteen liittyvät ominaisuudet, jotka ovat atomin ominaisuuksia, elektronegatiivisuudessa on aina kyse kemiallisesti sitoutuneen atomin ominaisuudesta.

Elektronegatiivisuus kasvaa jaksollisessa järjestelmässä jaksoissa vasemmalta oikealle ja ryhmissä alhaalta ylöspäin siten, että kaikkein elektronegatiivisin alkuaine on fluori (4,0) ja elektropositiivisimpia alkuaineita ovat cesium ja frankium (0,7). Elektronegatiivisuuden muuttuminen jaksollisessa järjestelmässä perustuu metallien pyrkimykseen luovuttaa elektroneja ja epämetallien pyrkimykseen vastaanottaa elektroneja, jotta pysyvä elektronirakenne saavutettaisiin. Elektronegatiivisuutta käytetään hyväksi molekyylien ominaisuuksien määrityksessä, koska sillä on merkitystä erityisesti kovalenttisten sidosten ominaisuuksien arvioinnissa.

HARJOITUSTEHTÄVÄT

P Perustehtävät

56. Minkä atomin Be, Ca, K tai Al atomisäde on kooltaan lähinnä natriumin (Na) atomisädettä? Perustele vastauksesi käyttäen vain jaksollista järjestelmää.

57. Etsi jaksollisesta järjestelmästä sellainen alkuaine, jolla on pysyvä isotooppi joka on
a. atomikooltaan pienin alkalimetalli.
b. reaktiokyvyltään suurin halogeeni.
c. reaktiivisin maa-alkalimetalli.
d. kemiallisesti passiivisin alkalimetalli.

58. Tarkastele alkuaineiden jakoa metalleihin ja epämetalleihin jaksollisessa järjestelmässä. Vertaa, miten näissä kahdessa aineluokassa eroavat toisistaan
a. ensimmäisen ionisoitumisenergian arvot
b. elektronegatiivisuudet
c. hapetusluvut.

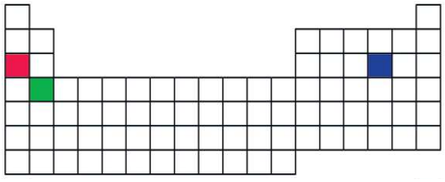
59. Kaliumin (K) ja kalsiumin (Ca) kaksi ensimmäistä ionisoitumisenergiaa ovat:

Alkuaine	E_{i1} (kJ/mol)	E_{i2} (kJ/mol)
K	418	3 070
Ca	590	1 150

a. Miksi kaliumin E_{i2} on paljon suurempi kuin E_{i1}?
b. Miksi kalsiumin kahden ensimmäisen ionisoitumisenergian ero on paljon pienempi kuin kaliumin vastaava ero?

60. Järjestä alkuaineet kasvavan elektronegatiivisuuden mukaan:
a. H, Be, K **b.** Al, S, O **c.** Cl, P, Si

Sy Syventävät



61. Vastaa oppikirjan taulukon avulla, kumpi muodostaa –1 -arvoisen ionin helpommin
a. Cl vai I **b.** H vai O

62. Kuvan jaksollisessa järjestelmässä on merkitty kolme alkuainetta. Ennusta niiden aseman perusteella, millä niistä on korkein toinen ionisoitumisenergia. Perustele.

63. Alla on kolme elektroniaffiniteettiarvoa, jotka kuuluvat fosforille, rikille ja kloorille. Mikä kuuluu millekin alkuaineelle ja miksi?
a. –200 kJ/mol **b.** –385 kJ/mol **c.** –74 kJ/mol.

So Soveltavat

64. Vastaa perustellen,
a. kumpi on kiinteää ainetta huoneen lämpötilassa Br vai I
b. kumpi reagoi herkemmin kloorin kanssa Mg vai K?

65. Selitä yhteys, joka vallitsee F^- -anionin, jonka varaus on –1, ionisoitumisenergian ja sähköisesti neutraalin fluoriatomin F elektroniaffiniteetin välillä?

KOKEELLISUUS

T Työ 7 Ionisoitumisenergia järjestysluvun funktiona

Ionisoitumisenergia on se energia, joka tarvitaan poistamaan ensimmäinen elektroni kaasumaisessa olomuodossa olevasta atomista tai ionista. Ensimmäisen elektronin poistamiseen tarvittavaa energiaa kutsutaan ensimmäiseksi ionisoitumisenergiaksi, toisen poistamiseen toiseksi ionisoitumisenergiaksi jne.

a. Osoita kuvaajan avulla, että ionisoitumisenergia on jaksollinen ominaisuus. Laadi kuvaaja, jossa on esitetty jaksollisen järjestelmän ensimmäiselle 20 alkuaineelle ensimmäinen ionisoitumisenergia alkuaineen järjestysluvun funktiona.
Ohje: valitse vaaka-akseliksi järjestysluku ja pystyakseliksi ionisoitumisenergia *E* (kJ/mol).

b. Miten ionisoitumisenergian arvot muuttuvat jaksossa vasemmalta oikealle? Miten tämä perustellaan?

c. Miksi ionisoitumisenergioiden arvo laskee jyrkästi, kun siirrytään seuraavaan jaksoon.

T Työ 8 Kolmannen jakson alkuaineet

Välineet
- taulukkokirja
- johtokykymittari tai virtapiiri

Työturvallisuus
Käsittele natriumia vain opettajan valvonnassa.

Saat opettajaltasi näytteet kolmannen jakson alkuaineista.

a. Täytä alla oleva taulukko niistä tekemiesi havaintojen ja taulukkokirjan avulla. Voit käyttää myös sähköisiä lähteitä.

alkuaine	**Na**	**Mg**	**Al**	**Si**	**P**	**S**	**Cl**	**Ar**
järjestysluku								
olomuoto (25 °C)								
ulkonäkö								
sulamispiste /°C								
sähkönjohtokyky +/–								
tiheys g/cm^3								
metalli/epämetalli								

Miten olomuoto ja sulamispiste muuttuvat, kun siirrytään taulukossa vasemmalta oikealle?

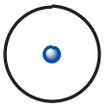
b. Laadi koesarja, jolla voit testata alkuaineiden kemiallisia ominaisuuksia eli reaktiivisuutta.

Visuaalinen kertaus

Atomimallin kehitys

Dalton (1803)

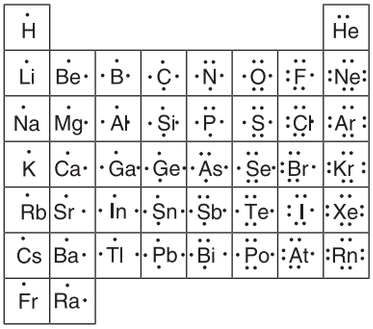
Thomson (1904)



Rutherford (1911)

Bohr (1913)

Elektronikonfiguraatiot



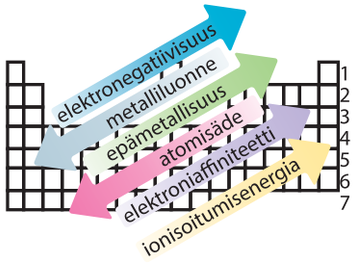
Atomisymbolin tulkki

Massaluku *A*
= protonien ja neutronien lukumäärä
= 6 + 7 = 13

$^{13}_{6}\mathrm{C}$

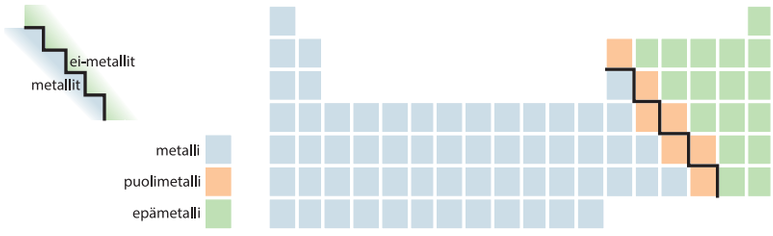
Järjestysluku *Z*
= protonien lukumäärä
= 6

Jaksollisia ominaisuuksia



- metalliluonne/epämetallisuus
- atomisäde
- ionisäde
- ionisoitumisenergia
- elektroniaffiniteetti
- elektronegatiivisuus

Metallit, epämetallit ja puolimetallit



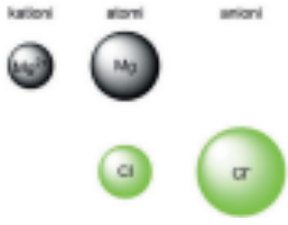
Orbitaali

näyttää, minkä muotoisen tilan yksittäinen elektroni todennäköisesti käyttää liikkuessaan omalla kuorellaan.

Alkuaine, atomi ja elektronikuori

- atomin osat ovat ydin ja elektroniverho
- atomin massa keskittyy ytimeen
- elektronikuorilla on eri energiat
- elektronikuoren numero on jakso
- saman ryhmän alkuaineilla on samankaltaiset kemialliset ominaisuudet

Atomi- ja ionisiteet



III VAHVAT SIDOKSET

10 Ionisidos
11 Metallisidos
12 Kovalenttinen sidos
13 Vahvojen sidosten ominaisuudet

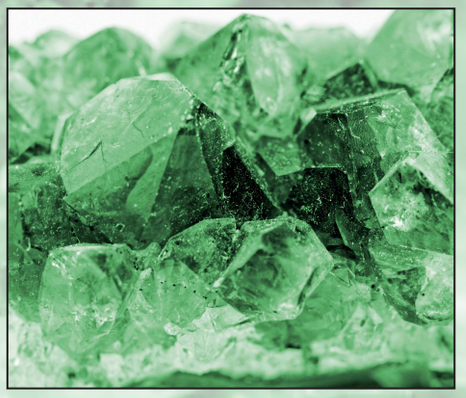
Professori August Wilhelm von Hofmann selitti 1830-luvulla tulevalle Englannin kuningatar Victorialle kemian ja fysiikan eroa seuraavasti:

Professori Hofmann otti pöydältä rautapalasen ja näytti sitä prinsessa Victorialle. ”Kun kuumennetaan tätä rautapalasta, se alkaa jonkin ajan kuluttua hehkua. Se käy pehmeäksi, niin että se voidaan takoa minkä muotoiseksi vain halutaan. Jos sitä yhä edelleen kuumennetaan, se lopuksi sulaa. Jos lakataan kuumentamasta, rautapalanen käy vähitellen kylmäksi ja kovaksi. Kappale on silloin taas rautaa niin kuin ennenkin. Kuumennettaessa se on muuttanut olotilaansa, mutta ainoastaan tilapaisesti, jolloin se muuttui kiinteästä olotilasta nestemaiseen ja sitten taas takaisin. Fysiikka käsittelee sellaisia ilmiöitä. Oletteko ymmärtänyt?”

”Mutta jos panen tämän rautapalasen rikkihappoon ja annan hapon vaikuttaa siihen tarpeeksi kauan, niin rautapalanen lopuksi häviää. Tuloksena on sininen liuos, ja jos sitä haihdutan, saan kirkkaita, vihertävän sinisiä kiteitä, semmoisia kuin tämä.”

”Kuten huomaatte, noilla kappaleilla ei ole enää mitään yhteisiä ominaisuuksia. On kysymys ilmiöstä, jossa kappale muuttaa rakennettaan. Kahdesta aineesta syntyy uusi aine. Happo on muodostanut metallin kanssa suolan. Raudasta ja rikkihaposta on syntynyt rautavihtrilliä (nykyisin rautasulfaatti, $FeSO_4 \cdot 7\ H_2O$). Kemia tutkii tällaisia ilmiöitä.”

Lainaus teoksesta: Karl Aloysios Schlesinger: *Aniliini*, WSOY, 1942

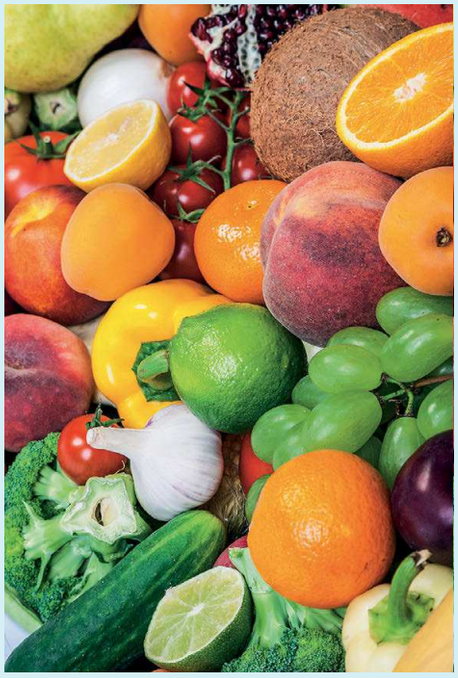


Nykyisin ymmärrämme, että yllä kuvatut muutokset johtuvat atomien, ionien ja molekyylien välisten sidosten erilaisista luonteista. Tässä jaksossa tutustumme tarkemmin näihin vahvoihin kemiallisiin sidoksiin ja niiden ominaisuuksiin.

10 Ionisidos

! Luvun sisällys

- **Ulkoelektronirakenne ja hapetusluku**
- **Ionisidos**
- **Ioniyhdisteet**



Monipuolinen ravinto sisältää ihmisen tarvitsemat kivennäisaineet ionimuodossa.

Suolaa voidaan valmistaa merivedestä haihduttamalla sitä tätä varten rajatuissa altaissa.

Siirtymämetallien suolat ovat usein värillisiä. Esimerkiksi kidevedellinen kuparisulfaatti on sinistä.

→ Osaat jo…

- Edellisen jakson luvuissa 6 ja 7 tutustuit atomiin.
- Luvussa 8 opit kuinka alkuaineet muodostavat jaksollisen järjestelmän.
- Luvun 9 perusteella tiedät myös, että alkuaineet ryhmittyvät jaksollisessa järjestelmässä kemiallisten ominaisuuksiensa mukaisesti.

↓ Opiskelet nyt…

- Tässä kappaleessa opiskelet, miten alkuaine muodostaa ionin.
- Opit ymmärtämään, että ionisidoksen muodostavat erimerkkisesti varautuneet ionit ja ionisidosta pitää koossa näiden ionien välinen sähköinen vetovoima.

Opiskelet myöhemmin… →

- Seuraavissa luvuissa opiskelet muut vahvat sidokset: kovalenttinen sidos luvussa 11 ja metallisidos luvussa 12.
- Vahvojen sidosten jälkeen, jaksossa 5, opiskelet eri aineita koossapitävistä voimista eli heikoista sidoksista.

Hapetusluvun merkintä
Hapetusluku merkitään tekstissä roomalaisella numerolla, joka kirjoitetaan alkuaineen symbolin perään. Esim. rauta voi esiintyä kahdella hapetusluvulla, kahdenarvoisena Fe(II) ja kolmenarvoisena Fe(III).

Ulkoelektronirakenne ja hapetusluku

Jalokaasuilla on uloin valenssikuori täynnä. Toisesta jaksosta alkaen kuorelle mahtuu kahdeksan elektronia eli oktetti. Se on atomin pysyvin muoto. Jalokaasut eivät juurikaan reagoi muiden alkuaineiden kanssa, ja siksi ne löydettiin alkuaineryhmistä viimeisenä. Jalokaasut muodostavat ryhmän 18. Myös muiden alkuaineiden atomit pyrkivät kemiallisissa reaktioissa saavuttamaan ulkokuorelleen lähimmän jalokaasun elektronirakenteen.

Opit luvussa 9 (s. 68), että alkuaineen hapetusluku on jaksollinen ominaisuus, koska se johtuu atomin ulkokuoren elektronirakenteesta. Hapetusluku kertoo, kuinka monta elektronia vähemmän tai enemmän alkuaineella on kemiallisen reaktion jälkeen kuin vapaalla alkuaineatomilla.

Vapaudenpatsas New Yorkin edustalla on päällystetty kuparilla. Ilman happi on hapettanut kuparin ensin tummaksi kuparioksidiksi CuO. Tämä oksidi muodostaa ilmassa olevan hiilidioksidin kanssa vihreää kuparikarbonaattia $CuCO_3$. Tätä kutsutaan patinaksi.

Hapettuminen ja pelkistyminen ovat elektroninsiirtoreaktioita

Hapetuslukujen avulla voidaan tarkastella elektronien siirtymistä kemiallisissa reaktioissa. Kun metalli **hapettuu**, se luovuttaa elektroneja. Elektronit eivät jää ilmaan roikkumaan, vaan jonkin atomin on otettava elektronit vastaan. Tämä aine, joka usein on epämetalli, **pelkistyy**. Hapettuminen tarkoittaa siis elektronien luovuttamista ja pelkistyminen elektronien vastaanottamista.

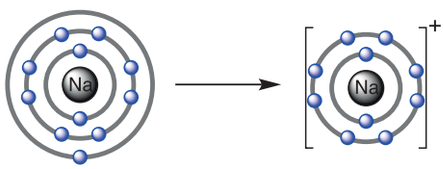
Ionit muodostuvat atomeista

Ioneja muodostuu, kun elektroneja siirtyy atomilta toiselle. Metalleilla on yleensä vain yhdestä kolmeen ulkoelektronia, jotka ne pyrkivät luovuttamaan kemiallisissa reaktioissa. Tällöin metalliatomista muodostuu **positiivisia ioneja** eli **kationeja**.

Metalleilla on vain positiivisia hapetuslukuja
$Na \rightarrow Na^+ + e^-$
Natriumin hapetusluku on +I
$Ca \rightarrow Ca^{2+} + 2\ e^-$
Kalsiumin hapetusluku on +II

E Esimerkki 1

Miten natriumioni Na^+ muodostuu natriumatomista Na?



Na-atomi Na^+-ioni

Ratkaisu: Natrium kuuluu ensimmäiseen pääryhmään, ja siksi se voi luovuttaa vain yhden elektronin. Natriumatomista muodostuu tällöin natriumioni, jonka varaus on +1. Tämä varaus merkitään alkuaineen kemiallisen merkin oikeaan yläkulmaan: Na^+.

? Pohdi

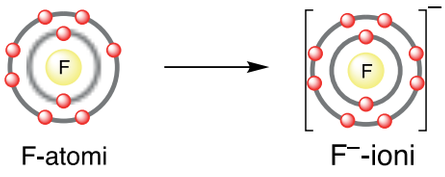
Miettikää ryhmissä, miten ionin varaus voidaan ennustaa ionisaatioenergioiden avulla. Käyttäkää apuna taulukkokirjaa.

Epämetalleilla on yleensä negatiivisia hapetuslukuja
$F_2 + 2\ e^- \rightarrow 2\ F^-$
Fluorin hapetusluku on –I
$O_2 + 4\ e^- \rightarrow 2\ O^{2-}$
Hapen hapetusluku on –II

Kun metalliatomi hapettuu ja luovuttaa elektroneja, niiden vastaanottajana on yleensä epämetalli. Näin syntyy **negatiivinen ioni** eli **anioni**. Tyypillisesti näin reagoivat ryhmien 15–17 epämetallit, koska ne tarvitsevat yhdestä kolmeen elektronia saavuttaakseen lähimmän jalokaasun rakenteen.

E Esimerkki 2

Miten fluoridi-ioni F^- muodostuu fluoriatomista F?



Ratkaisu: Fluori kuuluu ryhmään 17. Se tarvitsee vain yhden elektronin saavuttaakseen oktetin ja lähimmän jalokaasun rakenteen. Kun fluori pelkistyy ja vastaanottaa yhden elektronin, tulee siitä fluoridi-ioni, jonka varaus on –1. Tämä varaus merkitään alkuaineen kemiallisen merkin oikeaan yläkulmaan: F^-.

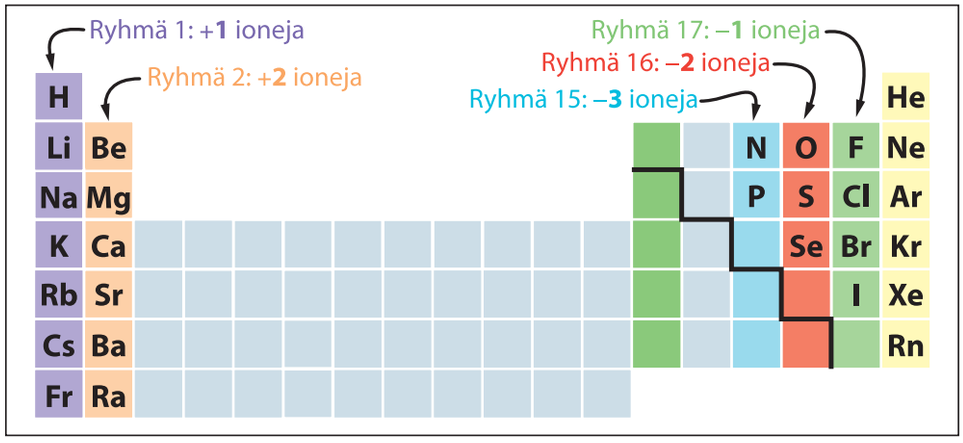
✔ Osaatko?

Huomaatko jotain erikoista edellisen sivun Na^+ -ionin ja viereisen F^- -ionin elektronirakenteissa?

? Pohdi

Mikä on negatiivisen ionin eli anionin muodostumisen ja elektroniaffiniteetin välinen yhteys?

Sinun ei tarvitse muistaa ulkoa, minkä ionin kukin alkuaine muodostaa. Voit aina tarkistaa pääryhmien alkuaineiden uloimman elektronikuoren elektronien lukumäärän jaksollisesta järjestelmästä. Samassa ryhmässä olevilla alkuaineilla on sama määrä ulkoelektroneja, ja siksi ne muodostavat samanlaisia ioneja.



E Esimerkki 3

!

1	2	13	14	15	16	17	18
Li	Be	B	C	N	O	F	Ne
Na	Mg	Al	Si	P	S	Cl	Ar

Pääryhmien jaksojen 1 ja 2 ulkokuoren elektronirakenne

? **Pohdi**

Mitä eroa on palamisella ja hapettumisella? Anna esimerkkejä molemmista.

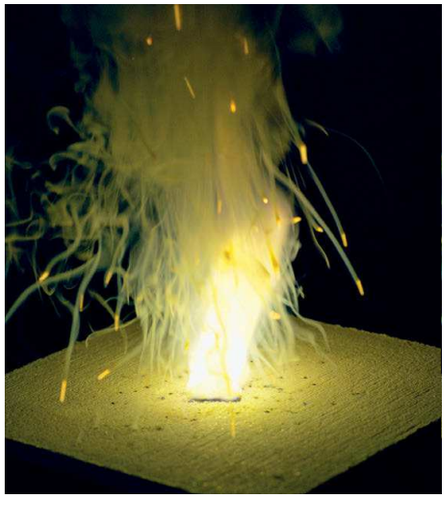
Mitkä ovat magnesiumin (Mg), alumiinin (Al) ja kloorin (Cl) muodostamien ionien hapetusluvut? Miksi? Mitkä ionit ne muodostavat kemiallisessa reaktiossa?

Ratkaisu: Magnesium kuuluu toiseen pääryhmään, ja sillä on kaksi elektronia uloimmalla kuorellaan. Magnesium voi luovuttaa kaksi elektronia, ja siksi sen hapetusluku on +II. Magnesium muodostaa Mg^{2+} -ionin. Alumiini kuuluu kolmanteen pääryhmään eli ryhmään 13, ja sillä on kolme elektronia uloimmalla kuorellaan. Alumiini voi luovuttaa kolme elektronia, ja siksi sen hapetusluku on +III. Alumiini muodostaa Al^{3+} -ionin.
Kloori kuuluu seitsemänteen pääryhmään eli ryhmään 17. Sillä on 7 elektronia uloimmalla kuorellaan. Kloori tarvitsee vain yhden elektronin saavuttaakseen jalokaasun rakenteen, ja siksi sen hapetusluku on –I.

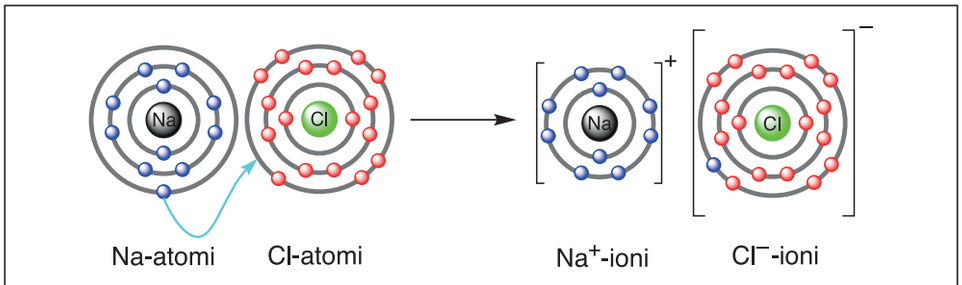
Ionisidos

Kemiallisessa reaktiossa metallit voivat luovuttaa hapettuessaan elektroneja epämetalleille. Reaktion seurauksena syntyy kaksi erimerkkisesti varattua ionia. Erimerkkiset varaukset vetävät toisiaan puoleensa. Ionien välille syntyvää sähköistä vetovoimaa kutsutaan **ionisidokseksi**. Tämä vetovoima on vahvin alkuaineiden välisistä sidoksista. Esimerkiksi ruokasuola eli natriumkloridi, NaCl, muodostuu, kun natrium luovuttaa yhden elektronin ja muodostaa Na^+ -ionin. Samanaikaisesti kloori ottaa tuon vapautuvan elektronin vastaan muodostaen Cl^- -ionin. Näiden ionien välille muodostuu heti voimakas vetovoima, ionisidos.

E Esimerkki 4



Vihreä kloorikaasu reagoi kiinteän natriumin kanssa ja muodostuu natriumkloridia, NaCl, joka on ruokasuolaa.



Natriumkloridissa on ionisidos natriumin ja kloorin välillä. Huomaa, että vaikka kuvassa kloorin elektronit on merkitty punaisella, ovat kaikki elektronit todellisuudessa samanlaisia.

!

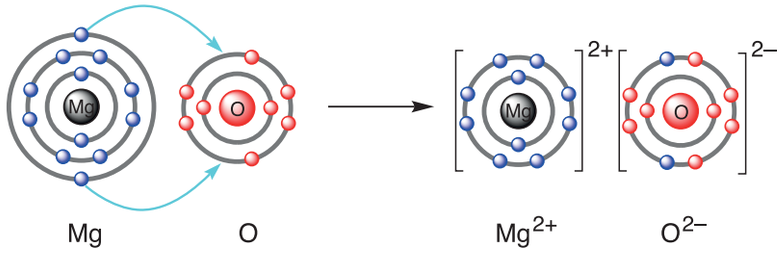
Sanomme arkikielessä suola, kun tarkoitamme ruokasuolaa, natriumkloridia. Kaikki ioniyhdisteet ovat kuitenkin suoloja.

Ioniyhdisteet

Vastakkaismerkkisten ionien muodostamaa yhdistettä kutsutaan **ioniyhdisteeksi**. Ioniyhdisteen toinen nimi on suola. Koska kationit ja anionit ovat sähköiseltä varaukseltaan vastakkaismerkkisiä, niiden välillä on vetovoimia. Suolat siis koostuvat kationeista ja anioneista ja pysyvät koossa ionisidoksin.

Magnesiumoksidin muodostuminen edellyttää kahden elektronin siirtoa. Mg on metalli, joka kuuluu ryhmään 2. Sillä on siis kaksi ulkoelektronia. Happi kuuluu ryhmään 16, jolloin siltä puuttuu kaksi elektronia uloimman kuoren oktetista.

E Esimerkki 5

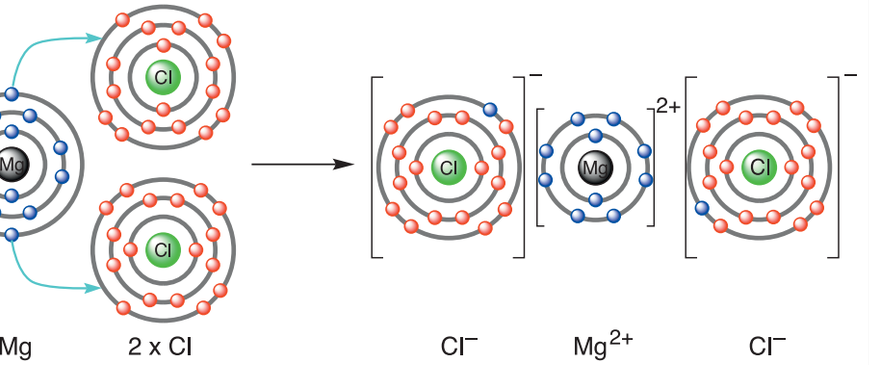


Magnesiumoksidissa yksi metallinen magnesium on luovuttanut uloimman kuoren molemmat elektroninsa epämetallille happi O.

E Esimerkki 6

Yksi merisuolan ioniyhdisteistä on magnesiumkloridi $MgCl_2$. Ryhmän 17 alkuaineena yksi klooriatomi (Cl) voi vastaanottaa ryhmän 2 magnesiumilta (Mg) vain yhden elektronin. Magnesiumkloridiin tarvitaan tästä syystä kaksi klooriatomia.

Magnesiumkloridi, $MgCl_2$ on syötävä suola, jota saadaan merivedestä.



Magnesiumkloridissa yksi metallinen magnesium on luovuttanut uloimman kuoren molemmat elektroninsa kahdelle epämetalliselle klooriatomille Cl.

Hapen ionin nimi on **oksidi**
O = happiatomi
O^{2-} = oksidi
Rikin ionin nimi on **sulfidi**
S = rikkiatomi
S^{2-} = sulfidi

Ioniyhdisteiden kaavat ja nimet

Kaikilla ioniyhdisteillä on siinä oleviin ioneihin perustuva nimi. Ioniyhdisteen eli suolan nimen ensimmäisen osan muodostaa positiivinen kationi. Alkuainekationin nimi on sama kuin alkuaineatomilla. Kaliumin ionisoituessa saamme siis kaliumionin K^+. Suolan nimen loppuosa tulee negatiiviselta anionilta. Alkuaineilla atomin nimen perään on lisättävä liite idi: kloorista tulee kloridi, Cl^-.

Yhdisteen kaava kertoo tarkasti, mitä ioneja yhdisteessä on ja missä suhteessa mitäkin niistä on. Suolan kemiallisessa kaavassa erimerkkisten ionien lukumäärien suhteen tulee olla sellainen, että varausten summa on nolla, koska ulkoisesti ioniyhdiste on sähköisesti neutraali. Tästä syystä emme kirjoita suolan kaavaan varauksia, vaikka ne yksittäisissä ioneissa ovatkin näkyvissä.

E Esimerkki 7

Muodosta seuraavista alkuaineista ionit ja yhdistä ne sitten ioniyhdisteiksi. Anna muodostamallesi suolalle nimi.
Li ja Br
Mg ja Cl
Ca ja O

Ratkaisu:
Li → Li^+ ja Br → Br^-. Yhdiste on LiBr litiumbromidi.
Mg → Mg^{2+} ja Cl → Cl^-. Yhdiste on $MgCl_2$ magnesiumkloridi.
Ca → Ca^{2+} ja O → O^{2-}. Yhdiste on CaO kalsiumoksidi.

Taulukko 10.1. Tavallisia moniatomisia ioneja

Ionin nimi	Kemiallinen kaava
ammonium	NH_4^+
hydroksidi	OH^-
nitraatti	NO_3^-
sulfaatti	SO_4^{2-}
karbonaatti	CO_3^{2-}
fosfaatti	PO_4^{3-}

Moniatomiset ionit

Suoloja muodostuu alkuaineiden välisten reaktioiden lisäksi myös esimerkiksi happojen ja emästen välisessä neutraloitumisreaktiossa. Silloin syntyvät ionit muodostuvat atomiryhmistä. Tavallisimpien kationien ja anionien nimet löytyvät taulukkokirjasta.

? Pohdi

Mitä tarkoittavat sulut kalsiumhydroksidin kaavassa $Ca(OH)_2$?

HARJOITUSTEHTÄVÄT

P Perustehtävät

66. Mihin jaksollisen järjestelmän ryhmään kuuluvat alkuaineet, jotka esiintyvät ioniyhdisteissä yksiatomisina ioneina vain seuraavissa ionimuodoissa.
a. +1 **b.** +2 **c.** −1 **d.** −2. Perustele vastauksesi.

67. Millä jalokaasuatomilla on sama elektronirakenne kuin O^{2-} -ionilla?

68. Millaisia ioneja muodostuu seuraavista alkuaineista?
a. Li **b.** Sr **c.** S **d.** Al **e.** Br

69. Anna seuraavien ionien nimet
a. Ca^{2+} **b.** O^{2-} **c.** I^- **d.** NH_4^+ **e.** OH^-

Sy Syventävät

70. Täydennä taulukkoon ionien kaavat sekä kirjoita muodostuvien yhdisteiden kaavat. Anna myös kaikkien syntyvien yhdisteiden nimi.

	Litium	**Kalsium**	**Alumiini**	**Ammonium**
Fluoridi				
Oksidi				
Nitraatti				
Karbonaatti				

71. Kirjoita seuraavien ioniyhdisteiden kaavat
a. bariumkloridi **b.** ammoniumnitraatti **c.** kaliumsulfaatti

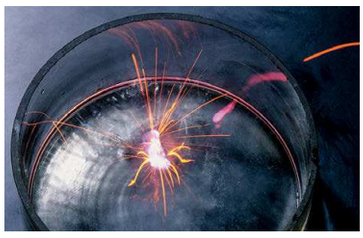
72. Päättele seuraavista ioniyhdisteiden kaavoista, mitkä ovat niitä muodostavien ionien varaukset:
a. Ag_2O **b.** $CuCl_2$ **c.** CaS **d.** $Ca(OH)_2$

73. Tulkitse seuraavia merkintöjä
a. $Na \rightarrow Na^+ + e^-$ **b.** $I_2 + 2\,e^- \rightarrow 2\,I^-$ **c.** $K^+ + Br^- \rightarrow KBr$

So Soveltavat

Siirtymämetallien suoloja myötäpäivään ylhäältä vasemmalta: kupari(II)sulfaatti, koboltti(II)kloridi, kromi(III) kloridi, rauta(III)kloridi, ja nikkeli(II)nitraatti.

74. Alla olevissa kuvissa on esitetty metallin reaktio veden kanssa. Metallit ovat kalium (K), magnesium (Mg) ja alumiini (Al). Yhdistä metallit ja kuvat. Perustele. Mikä on syntyvien ionien varaus?



75. Ota selvää, mihin siirtymämetallien värillisiä suoloja käytetään.

R Ryhmätehtävät

Tutkikaa alla olevaa tekstiä ja tutustukaa LUKION KEMIA 1:n sähköiseen materiaaliin. Tehkää niiden perusteella seuraavat tehtävät.

R18. Onko suola vaarallista?

R19. Mitä ovat kivennäis- ja hivenaineet? Mihin elävät oliot tarvitsevat niitä?

R20. Tutkikaa erilaisten kivennäisvesien, urheilujuomien ja vitamiinivalmisteiden pakkauksia. Mitä ioneja ne sisältävät? Miksi niissä on ioniyhdisteitä?

Kationit, anionit ja ihmiskeho

Ruokavaliomme mineraalit ovat pääasiassa epäorgaanisia ioneja. Ne ovat välttämättömiä ravintoaineita, joita on saatava päivittäisestä ruoastamme. Tärkeimmät kivennäisaineet ovat kalsium, fosfori ja magnesium. Näiden lisäksi ihminen tarvitsee muita aineita vähäisempiä määriä. Tärkeimmät hivenaineet ovat rauta, sinkki, kupari, mangaani, jodi, kromi, seleeni ja rikki. Solujen sähköistä tasapainoa säätelevät natrium ja kalium, jotka ovat elektrolyyttejä. Sähköisessä materiaalissa kerrotaan lisää näistä ihmiskehon soluille ja kudosnesteille tärkeistä ioneista.

KOKEELLISUUS

T Työ 9 Raudan määritys absorptimetrisesti

Aineet:
- rautatabletteja
- H_2SO_4 1 M
- HCl 0,1 M
- natriumasetaatti (25 %)
- 1,10-fenantroliini-hydrokloridi (0,5 %)
- standardiliuosta
- tislattua vettä

Tarvikkeet:
- Mittapulloja
  – 3 kpl 250 ml
  – 7 kpl 100 ml
- pipettejä: 50, 20, 15, 10, 5 ja 2 ml
- mittalasi 25 ml
- huhmare
- suppilo ja suodatinpaperia

Laitteet:
- spektrofotometri

Työssä määritetään rautatabletin rautapitoisuus. Tabletin sisältämä rauta(II)sulfaatti liuotetaan ja liuoksesta määritetään Fe^{2+}-ionien määrä kolorimetrisesti. Reagenssina käytetty 1,10-fenantroliini muodostaa raudan kanssa punaisen kompleksin $[Fe(C_{12}H_8N_2)_3]^{2+}$.
Valmista standardinäytteestä laimennossarja erillisen ohjeen mukaisesti.

Näytteen valmistus

Punnitse ja jauha rautatabletti. Punnitse tarkasti jauhettua näytettä noin 40 mg. Liuota se lämmittäen 100 ml tilavuuteen 0,1 M suolahappoa. Erota liukenematon jäännös suodattamalla suoraan 250 ml:n mittapulloon ja täytä se merkkiin. Pipetoi tästä liuoksesta 10 ml 100 ml:n mittapulloon ja tee seuraavat lisäykset:
– 5 ml 1 M rikkihappoa H_2SO_4
– 5 ml natriumasetaattiliuosta
– 10 ml 1,10-fenantroliiniliuosta
Täytä mittapullo tislatulla vedellä merkkiin asti.

Työn suoritus

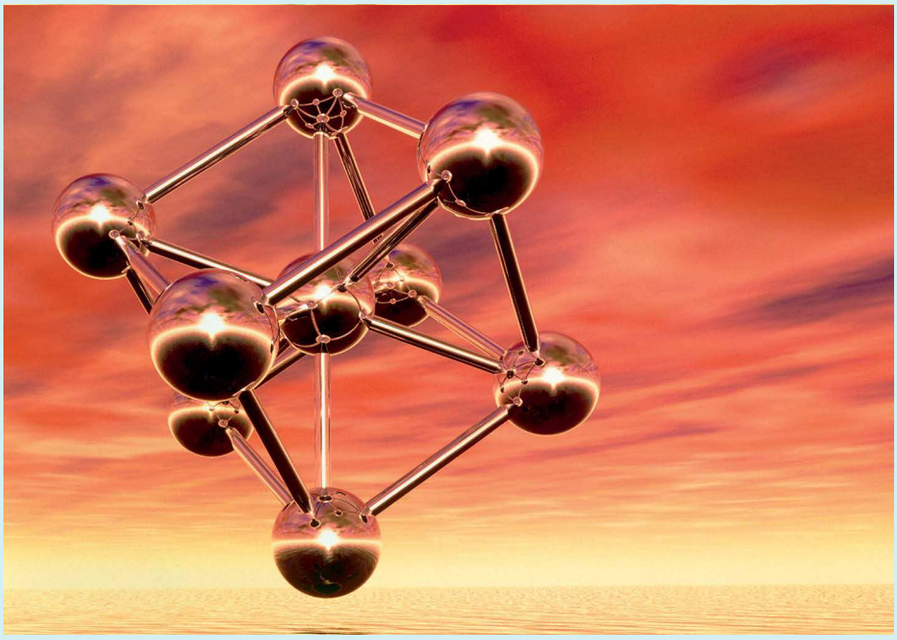
Mittaa spektrofotometrillä absorptio, joista lasket tabletin rautapitoisuuden (% Fe) ja yhden tabletin sisältämän raudan määrän (mg).

11 Metallisidos

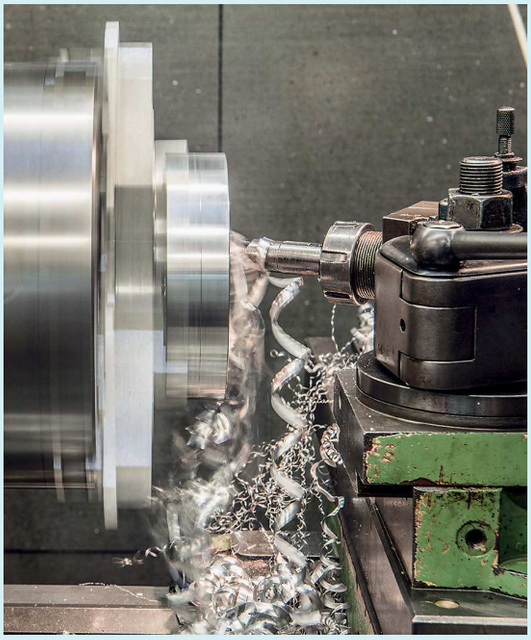
! Luvun sisällys

- **Metallit ovat suurin alkuaineryhmä**
- **Metallisidos kuuluu vahvoihin sidoksiin**
- **Metallin ominaisuudet johtuvat metallisidoksesta**
- **Metalliseokset**

Ihminen on osannut hyödyntää metalleja jo tuhansia vuosia. Kuvassa on antiikin roomalaisia pronssikolikoita.



Metalleilla on kiinteässä olomuodossa säännöllinen rakenne, metallihila.



Metallisidoksen ominaisuuksien ansiosta metalleja on helppo muokata.

→ Osaat jo…

- Tunnet erilaisia metalleja ja niiden ominaisuuksia.
- Tiedät, mihin metalleja voidaan käyttää.
- Osaat muodostaa metalleista positiivisia ioneja, kationeja. Tiedät myös, miten ioniyhdisteet muodostuvat. Olet opiskellut lisäksi metallien jaksollisia ominaisuuksia.

↓ Opiskelet nyt…

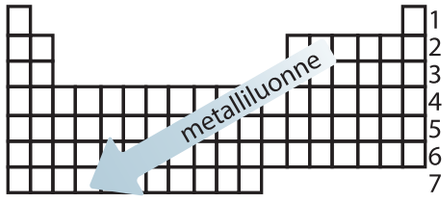
- Metallit ovat lähes kaikki kiinteitä aineita huoneen lämpötilassa. Kiinteällä aineella on tarkka rakenne.
- Metallisidos on vahva sidos, jota pitää koossa positiivisten atomiyitimien ja negatiivisen elektronipilven välinen sähköinen vetovoima.
- Opit myös, että metalliseokset ovat homogeenisia seoksia.

Opiskelet myöhemmin… →

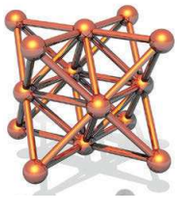
- Seuraavassa luvussa 12 opiskelet viimeisen vahvan sidoksen, kovalenttisen sidoksen.
- Erilaisten kemiallisten yhdisteiden välisiin vuorovaikutuksiin tutustut jaksossa IV Heikot sidokset.

Kupari on ollut ihmisen käyttömetalli jo vuosisatoja.

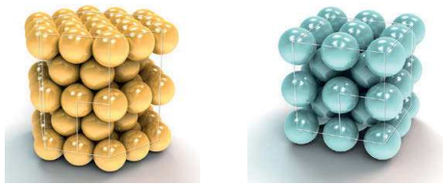
Metalliluonteen muuttuminen jaksollisessa järjestelmässä



Esimerkkejä metallien hilarakenteista



Kuparin kiderakenne



Yleisiä kidemuotoja ovat kuusikulmainen (vas.) ja kuutio (oik.).

Metallit ovat suurin alkuaineryhmä

Suurin osa alkuaineista on metalleja. Metallien runsas käyttö perustuu metalleille tyypillisten ominaisuuksien hyödyntämiseen. Olet tutustunut luvussa 4 erilaisiin metalleihin ja niiden käyttökohteisiin. Tässä luvussa opiskelet, millaisia sidoksia metalliatomien välissä on ja kuinka nämä sidokset vaikuttavat metalleille tyypillisiin ominaisuuksiin.

Palauta mieleesi luvusta 9, Jaksolliset ominaisuudet, miten metalliluonne on vahvasti sidoksissa atomisäteeseen ja ionisaatioenergiaan. Mitä alhaisempi ionisaatioenergian arvo on, sen metallisempi aine on. Metalliluonne siis kasvaa jaksollisessa järjestelmässä oikealta ylhäältä vasemmalle alas siirryttäessä.

Kiinteän aineen säännöllinen rakenne

Metallit esiintyvät huoneenlämmössä kiinteässä olomuodossa, paitsi elohopea Hg, joka on neste. Puhtailla kiinteillä alkuaineilla on hyvin säännöllinen rakenne, jossa atomit ovat pakkautuneet tarkkaan muotoon hyvin lähelle toisiaan. Tästä järjestelmästä käytetään nimitystä **hila**. Kiinteillä metalliatomeilla hila on metallihila.

Kiinteitä aineita, joilla on säännöllinen rakenne, kutsutaan **kiteisiksi aineiksi**. Rakenteen säännöllisyydestä seuraa tarkka sulamispiste. Viereisessä kuvassa on esitetty kolme erilaista metalleille mahdollista metallihilan mallia. Malleihin on piirretty näkyviin atomeista muodostuvien kationien pakkautuminen kolmiulotteiseksi rakenteeksi. Vapaasti liikkuvia elektroneja ei piirretä kiderakenteisiin.

✔ Osaatko?

Vastaa perustellen jokaisessa kohdassa, kumpi alkuaineista on metallisempi.

a. Ba, Ca **b.** Al, Si **c.** K, Mg

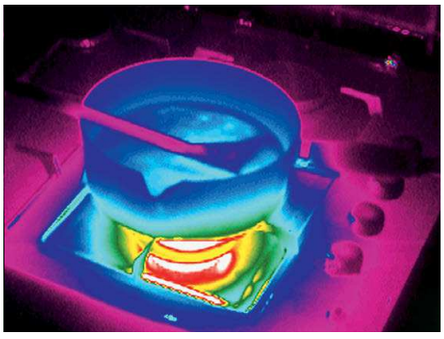
? Pohdi

Metallien tiheys on suuri. Esimerkiksi raudan tiheys on 7,87 kg/dm^3 ja kullan 19,3 kg/dm^3 (puhtaan jään tiheys on 0,92 kg/dm^3). Miten voit selittää metallien suuren tiheyden niiden kiderakenteilla?

Raudan kiderakenne taideteoksena Brysselissä, Belgiassa taideteoksena: Atomium

Metallin ominaisuudet
- sähkönjohtavuus
- lämmönjohtavuus
- äänenjohtavuus
- suuri tiheys
- metallinkiilto
- läpinäkymättömyys
- muokattavuus
- korkea sulamispiste

Termogrammi eli lämpökuva ruuanvalmistuksesta kaasuhellalla. Punainen on kuuma, sininen kylmä.

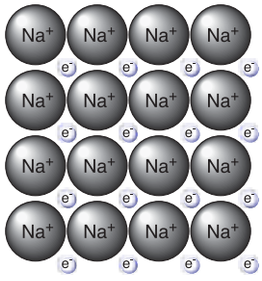


Mitä voit kuvan perusteella päätellä kauhan materiaalista?

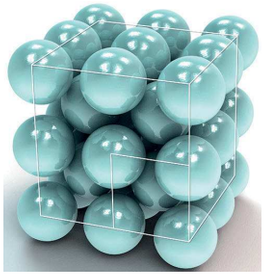
Metallisidos kuuluu vahvoihin sidoksiin

Metallit pysyvät koossa vahvoilla **metallisidoksilla**. Metallit luovuttavat mielellään uloimman elektronikuorensa elektronit muodostaakseen kationin. Koska lähettyvillä ei ole epämetallia, ei voi muodostua ionisidosta. Sen sijaan metallikappaleessa elektronit siirtyvät yhden atomin muodostaman kationin läheisyydestä toiselle atomille. Metallisidos muodostuu, kun positiivisten kationien joukko jakaa niiden välissä vapaasti liikkuvien negatiivisesti varattujen elektronien pilven. Rakenne pysyy koossa, koska erimerkkiset varaukset vetävät toisiaan puoleensa.

Kaikissa metallikappaleissa atomien välillä on metallisidos.



Metallisidoksessa positiivisia ytimiä pitää kiinni liikkuvien elektronien pilvi.



Metallit muodostavat tiiviisti pakkautuneen metallihilan.

Metallin ominaisuudet johtuvat metallisidoksesta

Metalleille tyypilliset ominaisuudet johtuvat metallisidoksesta. Metallit johtavat hyvin sähköä, koska niiden rakenteessa elektronit voivat liikkua vapaasti. Metallihilassa positiivisesti varautuneet metalli-ionit pakkautuvat mahdollisimman lähelle toisiaan, jolloin niiden värähtelyn energia siirtyy helposti ionista toiseen. Tämä selittää myös metallien hyvän lämmönjohtokyvyn sekä sen, että ääni etenee metallissa helposti.

Metalleilla on yleensä enintään kolme ulkoelektronia, jotka ne luovuttavat helposti. Näin pieni määrä pienikokoisia elektroneja ei vaadi suurta tilaa ytimen läheisyydessä ja positiiviset ytimet pääsevät pakkautumaan suhteellisen lähelle toisiaan. Tästä syystä metallihila on rakenteeltaan hyvin tiivis ja metallien tiheys on suuri.

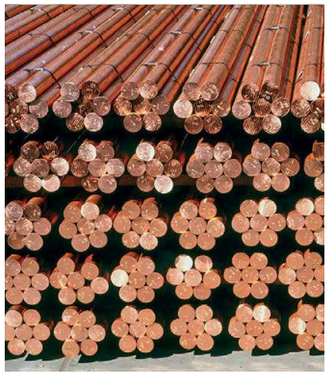
Maailman suurin avaruuspeili
Herschel-avaruusaseman peilit on valmistettu Suomessa tarkkuushiotusta piikarbidista jonka päälle on höyrystetty alumiinikerros.

Säännöllinen hilarakenne selittää metalliluonnetta

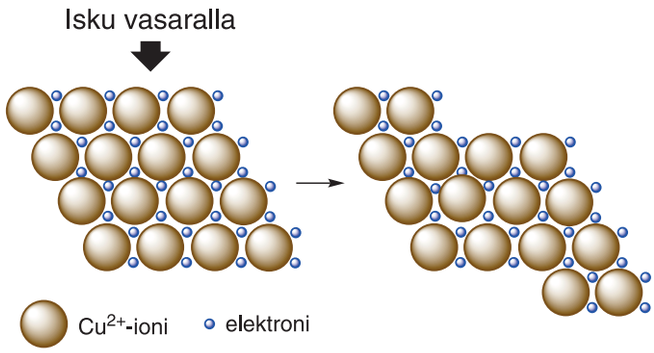
Metallin kiiltävyys ja läpinäkymättömyys ovat seurausta valoenergian vaikutuksesta metallin atomeihin. Valoenergia virittää osan metallin elektroneista, ja viritystila purkautuu näkyvänä valona. Koska metallihilan rakenne on säännöllinen ja tiivis, se heijastaa suurimman osan valosta, jolloin metallin sileä pinta kiiltää. Tiivis pinta absorboi eli imee osan valoenergiasta. Tämä tekee metallipinnasta läpinäkymättömän.

Metalli-ionien kerrokset voivat liukua toistensa ohi rakenteen murtumatta. Mitä vähemmän metallilla on ulkoelektroneja, sitä helpompi sitä on työstää. Metalleja voidaan muokata takomalla, venyttämällä tai puristamalla siitä levyjä.

Metallihila on hyvin säännönmukainen. Sidoselektronien pilvi pitää kidehilaa koossa ja tarvitaan paljon energiaa, jotta metallihila hajoaa. Tämän vuoksi metalleilla on korkeat sulamispisteet. Metallin sulaminen on metallihilan, ei metalliatomien hajoamista. Ulkoelektronien lukumäärä vaikuttaa pääryhmien metallien sulamispisteisiin. Pääsääntönä on, että samassa jaksossa sulamispiste nousee ulkoelektronien lukumäärän kasvaessa.



Kuparitankoja



Valssattuja kuparilevyjä

? Pohdi

Miksi voit takoa metallia ja muokata siitä erilaisia esineitä, mutta huhmareessa suolakiteet jauhautuvat murusiksi?

!

Tuttuja metalliseoksia eli lejeerinkejä
- pronssi (Cu, Sn)
- messinki (Cu, Zn)
- ruostumaton teräs (Fe, Cr, Ni)
- valkokulta (Au, Pd)
- uushopea (Cu, Zn, Ni)
- alumiiniseokset (Al, Zn, Mg, Cu, Cr, myös Ag, Mn ja Ti)
- titaaniseokset (Ti, V, Al)

Metalliseokset

Joskus puhtaan metallin ominaisuuksia halutaan muuttaa. Perinteinen tapa on muodostaa metalliseoksia, joissa eri metallien välillä on metallisidoksia. Kahden tai useamman metallin muodostama homogeeninen seos on **lejeerinki**. Puhdas kulta on hyvin pehmeää, joten sitä kovetetaan koruissa lisäämällä kuparia. Raudan ruostumattomuutta eli korroosionkestoa voidaan parantaa esimerkiksi kromin ja nikkelin avulla. Punertavasta kuparista saadaan sinkin avulla kullankiiltävää messinkiä.

HARJOITUSTEHTÄVÄT

P Perustehtävät

76. Selitä metallisidoksen ominaisuuksien perusteella, miksi
- **a.** sähköjohtoja valmistetaan kuparista
- **b.** kahvi jäähtyy nopeammin, kun laitat kuppiin teräslusikan
- **c.** hopeatangosta voidaan vetää hopealankaa.

77. Yhdistä oikea metalli ja ominaisuus:
- **a.** pehmeä metalli, jota voidaan leikata veitsellä
- **b.** ei hapetu ilman ja kosteuden vaikutuksesta
- **c.** lisätään rautaan, kun valmistetaan ruostumatonta terästä

Cr kromi

Na natrium

Au kulta

Sy Syventävät

Alumiinista valmistettuja esineitä

78 Alumiini on tärkeä käyttömetalli
- **a.** Tee piirrosmalli alumiinin metallihilasta.
- **b.** Miksi alumiinia ja sen lejeerinkejä käytetään lentokoneiden rakenteissa ja autojen vanteissa?
- **c.** Selitä, miksi alumiinia voidaan käyttää sähkönjohtimissa.
- **d.** Selitä, miten alumiinifolio on valmistettu.
- **e.** Miksi alumiini sopii hyvin paistovuoan materiaaliksi?

So Soveltavat

Metalleja, joilla on eri tiheys. Kaikilla tangoilla on sama massa.

79. Mikä on muistimetalli? Mihin muistimetallia voidaan käyttää?

80. Metallit, joiden tiheys on alle 5 g/cm^3, ovat kevytmetalleja. Tätä tiheämpiä metalleja kutsutaan raskasmetalleiksi. Tutustu taulukkokirjan ja muiden tietolähteiden avulla tärkeimpien metallien ominaisuuksiin ja luokittele metallit kevyt- ja raskasmetalleihin. Mikä metalliatomin rakenteessa on määräävin tekijä sille, että metallin tiheys on alhainen?

R Ryhmätehtävät

R21. Metalliseokset
Tutkikaa eri tietolähteitä käyttäen, mitä erilaisia metalliseoksia eli lejeerinkejä on, mikä on niiden kemiallinen koostumus ja mihin niitä käytetään.

R22. Metallit kautta aikojen
Selvittäkää eri lähteistä, miten ihminen on käyttänyt metalleja kautta historian. Valitkaa joko yksi metalli, jonka historiaa selvitätte, tai aikakausi, jonka eri metallien käyttöä tarkastelette.

KOKEELLISUUS

T Työ 10 — Alkemiaa: kuparista hopeaa ja kultaa?

Välineet
- kuparipaloja: kolikoita, nauloja tai kuparimetallin paloja.
- sinkkirakeita (Zn) tai sinkkijauhetta
- 0,5 mol/l NaOH-liuosta
- dekantterilaseja (keitinlasi)
- kuumennusvälineet

Muuta kuparipala, esimerkiksi kolikko, hopeanväriseksi kuumentamalla sitä NaOH-liuoksessa, jossa on sinkkirakeita (Zn). Huuhdo ja kuivaa pala hyvin. Onko kupariraha muuttunut hopearahaksi?
Kuumenna saamaasi hopeanväristä metallipalaa varovasti kaasupolttimen pienen liekin yläpuolella. Jatka, kunnes pala on kullanvärinen. Onko kupariraha muuttunut kultarahaksi?

T Työ 11 — Metallien ominaisuuksia

Välineet
- metallipaloja, esimerkiksi Na, Mg, Al, Fe ja Cu
- magneetti
- johtokykymittari
- kuumennusvälineet

Tutki eri metallien väriä, kiiltoa, taipuisuutta, magneettisuutta sekä sähkön- ja lämmönjohtavuutta. Mitä päätelmiä voit tehdä metallien sijainnista jaksollisessa järjestelmässä ja niiden ominaisuuksien perusteella.

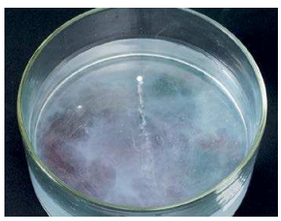
T Työ 12 — Atomikoon vaikutus reaktiivisuuteen

Välineet
- natriumia, Na (s)
- magnesiumia, Mg (s),
- alumiinia Al (s),
- fenoliftaleiini 1 %
- 5 koeputkea ja koeputkiteline
- pinsetit

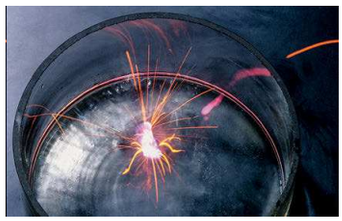
Täytä kaikki koeputket puolilleen vedellä. Lisää kuhunkin putkeen pari pisaraa fenoliftaleiiniliuosta. Laita pinseteillä pieni pala eri metalleja eri putkiin. Seuraa reaktioita.

Tulosten tarkastelu
1. Taulukoi tekemäsi havainnot
2. Selitä, miksi vesiliuos muuttuu joissain putkissa punaiseksi. Miten tämä liittyy jaksollisen järjestelmän ryhmien 1 ja 2 nimiin?
3. Mihin käyttämäsi metallit sijoittuvat jaksollisessa järjestelmässä?
4. Miksi kolmannen jakson metallien reaktiokyky muuttuu siirryttäessä jaksossa vasemmalta oikealle?
5. Selitä havaintosi käytettyjen metallien atomikoon perusteella.

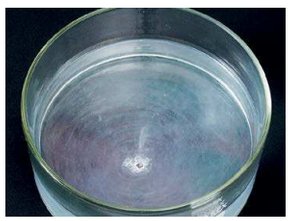
Työhön liittyvä tehtävä
Kolme metallia A, B ja C kuuluvat jaksollisen järjestelmän samaan ryhmään. Kun niiden annettiin reagoida veden kanssa, havaittiin alla olevien kuvien 1–3 mukaiset reaktiot.



Kuva 1. A + H_2O



Kuva 2. B + H_2O



Kuva 3. C + H_2O

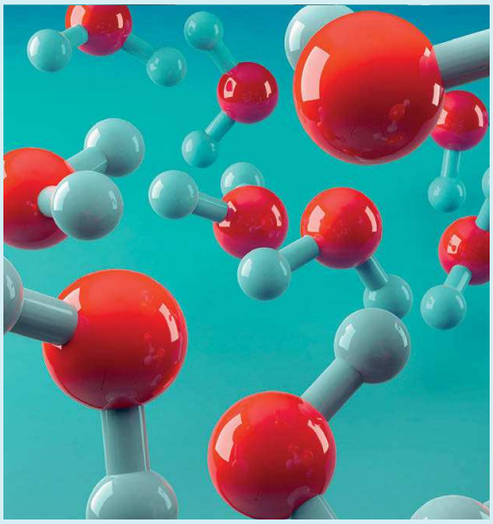
a. Järjestä metallit kasvavan atomikoon mukaiseen järjestykseen.
b. Mitä kaasua reaktiossa muodostuu? Millaisella testillä voisit osoittaa muodostuvan kaasun?

12 Kovalenttinen sidos

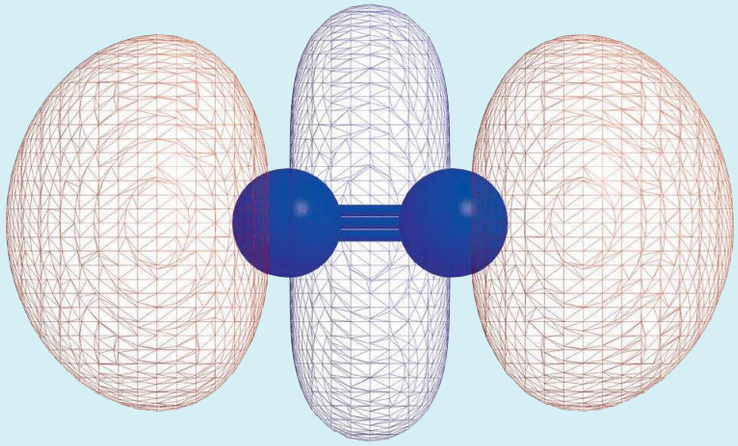
! Luvun sisällys

- **Atomeista molekyyleiksi**
- **Molekyyleissä on kovalenttinen sidos**
- **Poolisuus on molekyylin ominaisuus**
- **Alkuainemolekyylit ovat poolittomia**
- **Vesi on voimakkaasti poolinen molekyyli**

Halogeeneissa atomien välillä on kovalenttinen sidos. Kuvassa vasemmalta kloori, bromi ja jodi.



Vesi on voimakkaasti poolinen molekyyli.



Typpimolekyyli on pooliton.

→ Osaat jo…

- vahvojen kemiallisten sidosten perusteet ja osaat muodostaa alkuaineista ioneja. Tiedät, että ioneista muodostuu ioniyhdisteitä, suoloja.
- Ymmärrät myös metallien erityisominaisuudet, jotka johtuvat metallisidoksista.

↓ Opiskelet nyt…

- miten epämetallit muodostavat molekyylejä, kun ne jakavat sidoselektroneja.
- Opit myös, että kovalenttinen sidos voi olla joko pooliton tai poolinen.
- Opiskelet, kuinka molekyylin muoto vaikuttaa sen poolisuuteen.

Opiskelet myöhemmin… →

- Jakson III viimeisessä luvussa 13 perehdyt erilaisten kiinteiden aineiden ominaisuuksiin.
- Jaksossa IV opiskelet nesteiden ja kaasujen ominaisuuksista, jotka johtuvat niiden molekyylien välisistä heikoista sidoksista.

Valenssielektronit ovat atomin uloimman kuoren elektroneja.

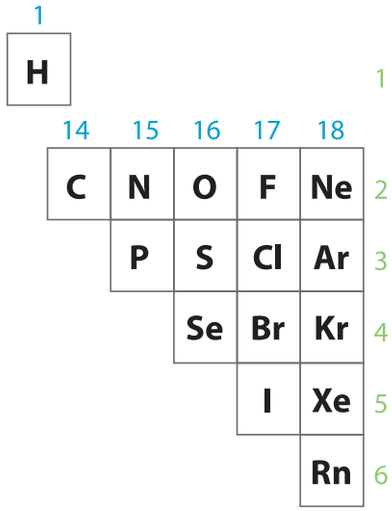
Atomeista molekyyleiksi

Vain jalokaasut ja jalot metallit voivat esiintyä luonnossa vapaina alkuaineatomeina. Muut epämetallit muodostavat aina kemiallisen sidoksen toisen atomin kanssa. Epämetallien valenssikuori on vähintään puoliksi täynnä. Tästä syystä epämetallit eivät luovuta elektronejaan, vaan ottavat vastaan niin monta elektronia, että niiden uloin kuori täyttyy. Kun kaksi epämetallia reagoi keskenään, ne jakavat valenssielektroninsa yhteiseen käyttöön, ja muodostuu **molekyylejä**.

Alkuaineista vety (H), typpi (N), happi (O) ja halogeenit, ryhmä 17 (F, Cl, Br, I) esiintyvät vapaina alkuaineina vain kaksiatomisina molekyyleinä. Kun vety-, typpi-, happi- ja halogeenimolekyylit muodostuvat, yksittäisten atomien elektronirakenteet täydentyvät vastaamaan jalokaasujen pysyviä elektronirakenteita. Esimerkiksi hapen luonnossa esiintyvä muoto, happikaasu, kirjoitetaan kemian merkkikielellä O_2. Tämä on happimolekyylin kemiallinen kaava. Jaksollisessa järjestelmässä näkyvä kemiallinen merkki O on siis yksittäisen happiatomin kemiallinen merkki.

!

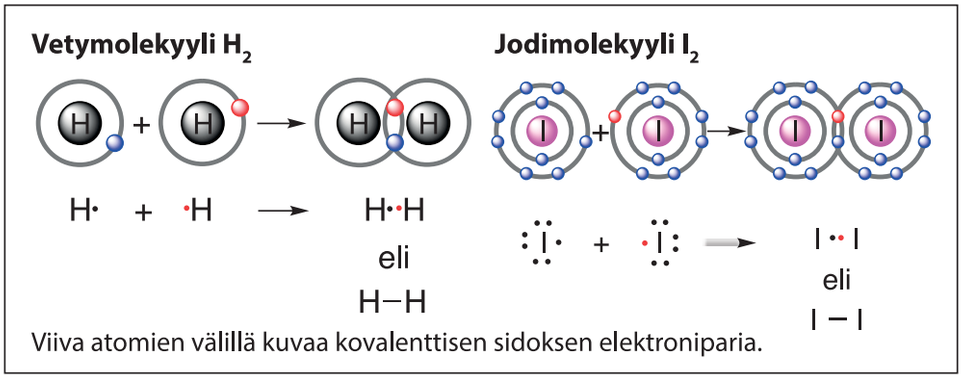
Epämetallit jaksollisessa järjestelmässä



Molekyyleissä on kovalenttinen sidos

Molekyyleissä atomeja sitoo yhteinen elektronipari, joka muodostaa vahvan **kovalenttisen sidoksen** (co = yhteinen, valence = sidoselektroni). Kovalenttisen sidoksen muodostukseen osallistuvat atomin ulkokuorella olevat parittomat **valenssielektronit**. Sidosten muodostuminen johtuu siitä, että molemmat atomit pyrkivät saamaan uloimman kuorensa täyteen. Sidoselektroniparin kaksi elektronia ovat lähtöisin sidokseen osallistuvilta atomeilta, yksi elektroni kummaltakin. Kovalenttisessa sidoksessa yhteinen elektronipari vetää sähköisesti puoleensa molempia atomiytimiä.

Molekyyli
on varaukseton kahden tai useamman atomin muodostama yksikkö.



Viiva atomien välillä kuvaa kovalenttisen sidoksen elektroniparia.

Typpimolekyyli on suhteellisen reaktiokyvytön. Siksi sitä käytetään suojakaasuna elintarvikepakkauksissa.

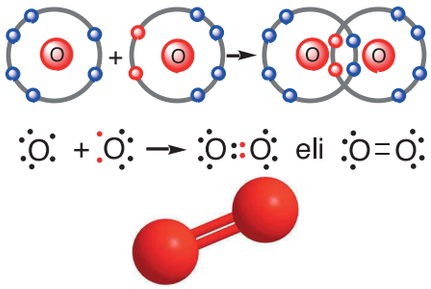
Typpikaasu tiivistyy nesteeksi –196 °C:n lämpötilassa normaalipaineessa. Nestemäistä typpeä käytetään jäähdytykseen esimerkiksi lääketieteellisissä solututkimuksissa, koska se ei vahingoita soluja.

Molekyylikaava
ilmaisee yhdisteessä olevat atomit ja niiden lukumäärän. Esim. metaanin molekyylikaava on CH_4.

Kovalenttinen sidos voi olla moninkertainen

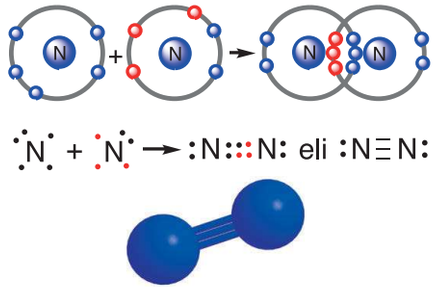
Ryhmän 16 alkuaineena hapella on kuusi elektronia uloimmalla kuorellaan. Kaksi happiatomia muodostaa happimolekyylin, kun molemmat jakavat kaksi elektroniaan toistensa kanssa ja kummankin uloin kuori täyttyy. Syntyy kaksi kovalenttista sidosta. Tällaista sidosta kutsutaan **kaksoissidokseksi**. Vastaavasti typellä ryhmän 15 alkuaineena on viisi ulkoelektronia. Typpimolekyyli syntyy, kun molemmat typpiatomit jakavat kolme elektronia toistensa kanssa. Typpimolekyylissä on siis **kolmoissidos**.

Happimolekyylin O_2 muodostuminen happiatomeista



Happimolekyylissä on happiatomien välissä kaksoissidos.

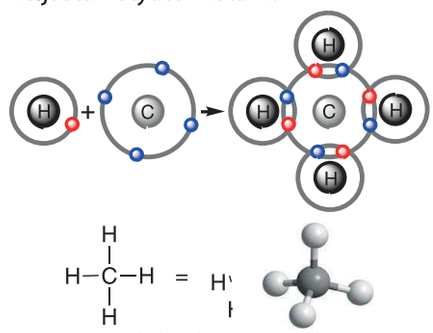
Typpimolekyylin N_2 muodostuminen typpiatomeista



Typpimolekyylissä on typpiatomien välissä kolmoissidos.

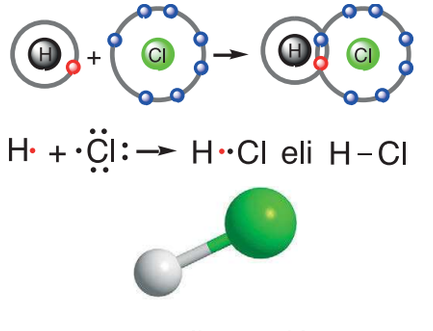
Kovalenttisia sidoksia voi muodostua myös kahden eri epämetalliatomin välille. Molekyylissä voi olla siis joko vain yhtä atomilajia tai siinä voi olla useampia eri epämetalliatomeja. Esimerkiksi maakaasun eli metaanimolekyylin CH_4 vetyatomit sitoutuvat yksinkertaisilla kovalenttisilla sidoksilla keskusatomina toimivaan hiileen. Vastaavasti kloorivetymolekyylissä yksi klooriatomi sitoutuu yksinkertaisella sidoksella vetyyn.

Metaanimolekyylin CH_4 muodostuminen yhdestä hiiliatomista C ja neljästä vetyatomista H.



Metaanimolekyylissä on neljä vetyä, koska hiilellä on neljä valenssielektronia.

Kloorivetymolekyylin HCl muodostuminen yhdestä vetyatomista H ja yhdestä klooriatomista Cl.

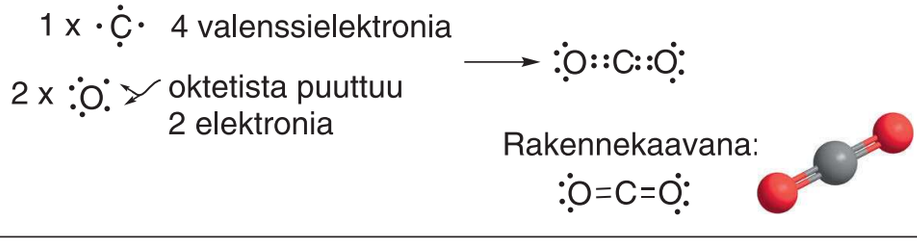


Vetyatomi on valkoinen, klooriatomi vihreä.

E Esimerkki

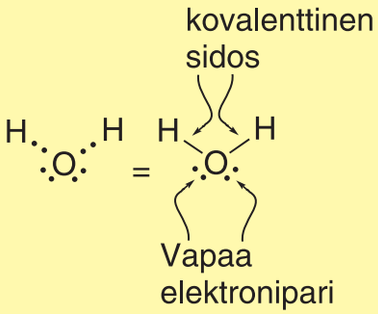
Miksi hiilidioksidimolekyylissä on kaksi kaksoissidosta hiilen ja hapen välillä?

Ratkaisu:
Hiilidioksidin kemiallinen kaava on CO_2. Hiili kuuluu ryhmään 14, joten sillä on neljä valenssielektronia. Hiili voi muodostaa joko yksinkertaisia sidoksia tai kaksois- tai kolmoissidoksia. Happi kuuluu 16. ryhmään ja se tarvitsee kaksi elektronia saadakseen uloimman kuorensa täyteen. Yksi hiiliatomi jakaa kaksi elektroniansa kahden happiatomin kanssa, jolloin kaikki kolme atomia saavat uloimmat kuorensa täyteen.



Rakennekaavasta ilmenee, miten yhdisteen atomit ovat sitoutuneet toisiinsa. Rakennekaavoissa kovalenttisen sidoksen muodostama elektronipari korvataan viivalla. Vastaavasti kaksoissidoksessa on kaksi viivaa ja kolmoissidoksessa kolme viivaa. Valenssielektronien lisäksi typellä on yksi ja hapella kaksi **vapaata elektroniparia**. Ne ovat atomin omia elektronipareja, jotka eivät muodosta kovalenttista sidosta toisen atomin kanssa. Vapaat elektroniparit merkitään rakennekaavassa kahtena pisteenä.

Yksi viiva kuvaa yhtä kovalenttista sidosta, jossa on kaksi sidoselektronia.



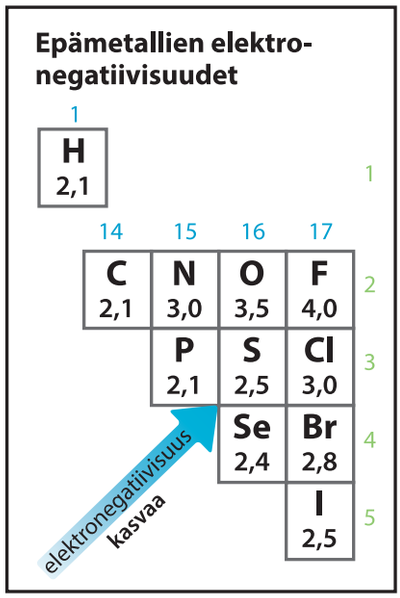
? Pohdi

Miten muodostaisit kloorivetymolekyylin HCl tai ammoniakkimolekyylin NH_3? Millaiselta niiden rakennekaavat näyttävät?

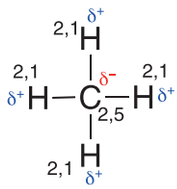
Elektronegatiivisuus
kuvaa alkuaineen kykyä vetää puoleensa yhteisiä sidoselektroneja kovalenttisessa sidoksessa.

Poolisuus on molekyylin ominaisuus

Epämetallit jakavat sidoselektroneja, jolloin muodostuu kovalenttinen sidos. Olemme opiskelleet luvussa 9, kuinka alkuaineiden erilaiset kemialliset ominaisuudet muuttuvat jaksollisessa järjestelmässä. Yksi näistä ominaisuuksista on elektronegatiivisuus. Elektronegatiivisuusasteikon on kehittänyt **Linus Pauling**.



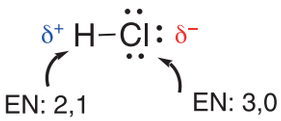
Jos kovalenttisen sidoksen muodostavat kaksi samaa epämetalliatomia, myös niiden elektronegatiivisuudet ovat samat ja yhteiset elektronit jakautuvat tasaisesti atomien välille. Tällaista kovalenttista sidosta kutsutaan **poolittomaksi**. Kahden eri epämetalliatomin välinen kovalenttinen sidos taas on **poolinen**. Tarkastellaan tätä muutaman esimerkkiaineen avulla. Kloorivetymolekyylissä on yksinkertainen kovalenttinen sidos kloori-atomin ja vetyatomin välillä: Cl—H. Viereisestä kuvasta näemme, että kloorin elektronegatiivisuus EN 3,0 ja vedyn 2,1 ja näiden välinen erotus $\Delta EN = 0{,}9$. Kloriatomi vetää tästä syystä yhteisiä sidoselektroneja puoleensa enemmän kuin vety. Kloorin ja vedyn välinen sidos on siten poolinen.



Toinen esimerkki on metaanimolekyyli CH_4. Metaanissa hiili on keskusatomi, josta lähtee neljä vetyatomia yksikertaisella sidoksella. Hiilen elektronegatiivisuus on 2,5 ja vedyn 2,1. Ero näiden kahden välillä $\Delta EN = 0{,}4$, joka on pienempi kuin kloorin ja vedyn elektronegatiivisuuksien erotus. Metaanissa olevat kovalenttiset sidokset ovatkin vain jonkin verran polarisoituneita eli poolisia.

!

Osittaisvaraus
Poolinen -käsite viittaa siihen, että poolisessa sidoksessa on kaksi sähköistä napaa. Yhteisen elektroniparin elektronit ovat siirtyneet lähemmäksi elektronegatiivisempaa alkuainetta. Näin se saa negatiivisen osittaisvarauksen δ^-. Vähemmän elektronegatiivinen alkuaine saa positiivisen osittaisvarauksen δ^+.

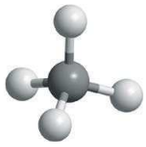


Huomaa, että jopa hyvin voimakkaasti poolisessa kovalenttisessa sidoksessa elektroni ei ole koskaan täysin vain yhdellä atomilla, koska δ on itseisarvoltaan aina pienempi kuin alkeisvaraus e^-.

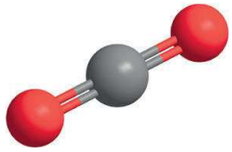
✔ Osaatko?

Etsi elektronegatiivisuustaulukosta alla olevien atomien elektronegatiivisuudet. Merkitse paikoilleen osittaisvaraukset. Laske sidosten elektronegatiivisuuserot (ΔEN) ja järjestä sen jälkeen sidokset poolisimmasta poolittomimpaan.
C—C, C—Cl, C—H, C—O, O—H

!



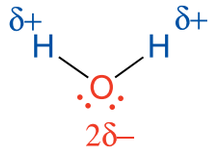
Metaanimolekyylissä hiili on keskellä tetraedria ja vedyt sen kärjissä.

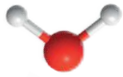


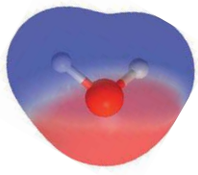
Hiilidioksidimolekyyli on sauvamainen.

!

Veden rakenne







Veden rakenteeseen jää osittaisvarauksia, jotka eivät kumoudu. Tällainen rakenne on nimeltään **pysyvä dipoli.**

Pooliset ja poolittomat molekyylit

Samoin kuin kovalenttinen sidos voi olla joko poolinen tai pooliton, myös koko molekyyli voi olla poolinen tai pooliton. On erittäin tärkeää tunnistaa molekyylin poolisuusominaisuudet, koska poolisten ja poolittomien molekyylien ominaisuudet poikkeavat hyvin paljon toisistaan. Opiskelemme erilaisten aineiden kemiallisia ja fysikaalisia ominaisuuksia etenkin seuraavan jakson luvuissa 15 ja 16.

Alkuainemolekyylit ovat poolittomia

Molekyyli on pooliton, jos siinä on ainoastaan poolittomia kovalenttisia sidoksia. Alkuainemolekyyli on aina pooliton, sillä siinä on vain yhtä atomilajia, jolloin sidoksen elektronegatiivisuusero on 0. Joskus koko molekyylin muoto on sellainen, että vaikka yksittäiset sidokset olisivat poolisia, on molekyyli itsessään pooliton. Pooliton molekyyli on esimerkiksi metaani CH_4, koska se on muodoltaan täydellinen tetraedri, jossa yksittäisten C—H-sidosten poolisuus kumoutuu molekyylin muodon vuoksi. Toinen pooliton molekyyli on hiilidioksidi CO_2, joka on geometrialtaan lineaarinen eli suora. Hiilen ja hapen välinen sidos on poolinen ($\Delta EN = 1{,}0$), mutta hapet sijaitsevat keskusatomina toimivaan hiileen nähden vastakkaisilla puolilla. Tämäkin muoto kumoaa atomien välisten sidosten poolisuuden ja koko molekyyli on pooliton.

Vesi on voimakkaasti poolinen molekyyli

Poolisessa molekyylissä on oltava vähintään yksi poolinen sidos. Vesi, H_2O on erinomainen esimerkki voimakkaasti poolisesta molekyylistä. Siinä on kaksi O—H sidosta, joiden kummankin $\Delta EN = 1{,}4$. Lisäksi hapella on kaksi vapaata elektroniparia, jotka ovat vain sen omassa käytössä. Vesimolekyylissä keskusatomi hapella on lähes kaikki elektronitiheys, kun taas vedyt ovat happeen nähden hyvin positiivisia. Kun vielä molekyylin nuolenkärjen näköinen muoto edesauttaa varausten jakautumista, on vedellä aivan erityiset ominaisuudet. Palaamme veden ominaisuuksiin luvussa 16.

HARJOITUSTEHTÄVÄT

P Perustehtävät

81. Minkä nimiset kemialliset sidokset liittävät atomit molekyyleiksi?

82. Mitä käy ilmi molekyylin
a. molekyylikaavasta
b. rakennekaavasta?

83. Mitä tarkoittavat merkinnät
a. 4 O **b.** S_8 **c.** 3 H_2O?

84. Päättele alkuaineiden ryhmän perusteella, kuinka monella kovalenttisella sidoksella voivat sitoutua
a. 14. **b.** 15. **c.** 16. ja **d.** 17. ryhmän epämetallit.

Sy Syventävät

Kiteistä rikkiä, joka on ryhmän 16 epämetalli.

85. Miten ovat sitoutuneet
a. jodiatomit jodimolekyylissä I_2
b. happiatomit happimolekyylissä O_2
c. hiili- ja vetyatomit etyynimolekyylissä C_2H_2?

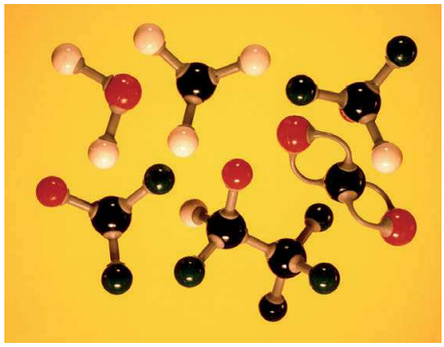
86. Tutki jaksollisen järjestelmän perusteella, millaisia kovalenttisia sidoksia atomien välille muodostuu. Piirrä molekyylien rakennekaavat ja merkitse niihin myös mahdolliset vapaat elektroniparit.
a. NH_3 **b.** H_2S **c.** Cl_2 **d.** HF

87. Mistä sidoksen poolisuus johtuu?

88. Merkitse alkuaineiden elektronegatiivisuusarvot ja päättele, mitkä seuraavista sidoksista ovat poolisia:
a. C=O **b.** F–H **c.** H–H **d.** N–H

89. Merkitse seuraaviin molekyyleihin näkyviin mahdolliset osittaisvaraukset:
a. I–I **b.** O=C=O **c.** H–Br

So Soveltavat



H_2O, CH_4, CO_2 ja erilaisia freoneja: CFC

90. Mitkä seuraavista molekyyleistä ovat poolittomia ja mitkä poolisia? Piirrä ensin rakennekaavat ja perustele vastauksesi niiden avulla.
a. HCN **b.** Etaani **c.** NH_3 **d.** Cl_2

91. Tee selvitys kasvihuonekaasujen rakenteista. Käytä apuna viereistä kuvaa.

R Ryhmätehtävät

R23. Tutustukaa LUKION KEMIA1:n sähköiseen materiaaliin **Varauspilvet** ja vastatkaa seuraaviin kysymyksiin:
a. Mikä on vapaa elektronipari?
b. Selitä lyhyesti, mitä elektronipilvi tarkoittaa.

R24. Tutustukaa LUKION KEMIA 1:n sähköiseen materiaaliin **Koordinaatiosidos** ja selvittäkää miten muodostuvat seuraavat ionit:
a. NH_4^+ **b.** H_3O^+ **c.** BF_4^-

KOKEELLISUUS

T Työ 13 Kolmiulotteiset molekyylit

Välineet
- molekyylimallitusohjelmat

tai
- molekyylimallit

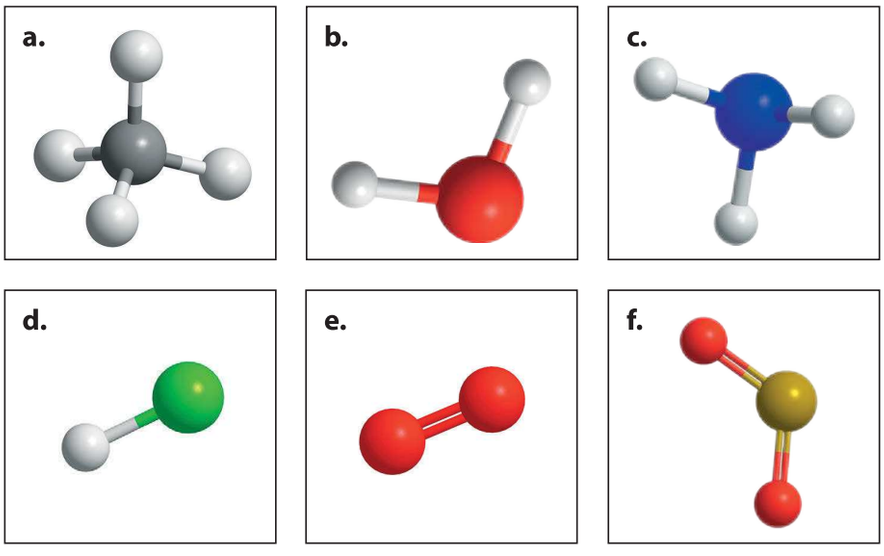
tai
- erikokoisia askartelupalloja
- cocktail-tikkuja
- vesivärit

- kulmaviivain

Työn tarkoitus
Tämän työn tarkoituksena on havainnollistaa, että molekyylit ovat muodoltaan kolmiulotteisia ja niiden muodolla on vaikutus molekyylin polaarisuuteen.
Tutustu ensin LUKION KEMIA 1:n sähköiseen materiaaliin **Molekyylin muoto** ja tee sen jälkeen seuraavat molekyylit joko piirtämällä mallitusohjelmalla, rakentamalla molekyylimalleista tai askartelemalla.

a. metaani CH_4 **b.** vesi H_2O **c.** ammoniakki NH_3
d. kloorivety HCl **e.** happimolekyyli O_2 **f.** rikkidioksidi SO_2

Työn suoritus
1. Mittaa malleista sidoskulmat.
2. Piirrä molekyylien rakennekaavat.
3. Päättele molekyylien poolisuus.
4. Valokuvaa molekyylisi ja dokumentoi työsi opettajan pyytämällä tavalla.



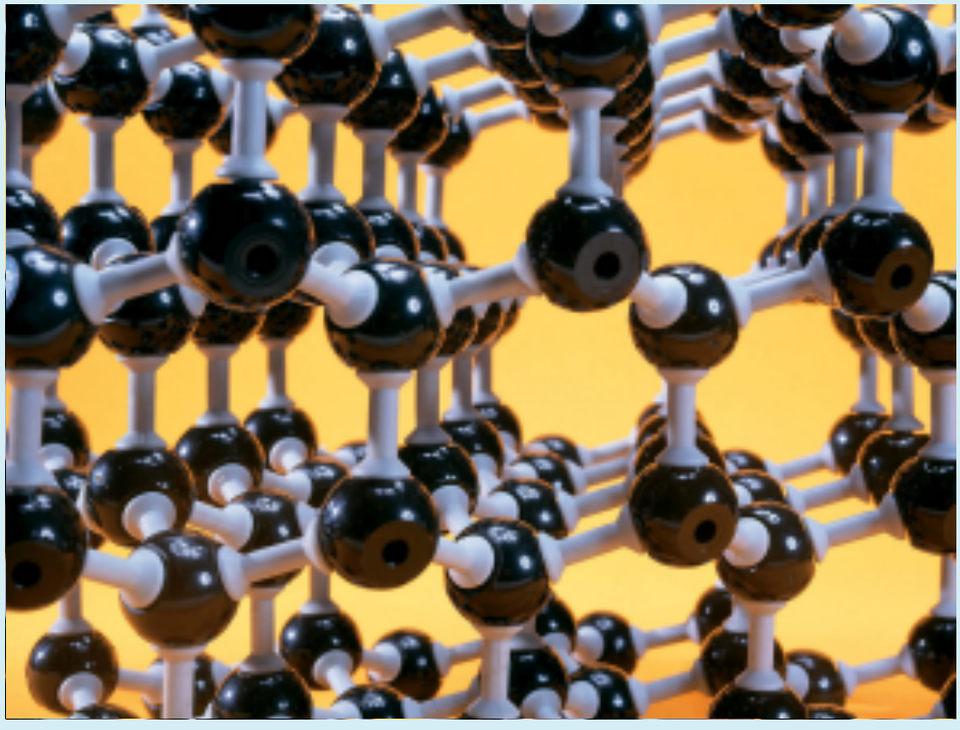
13 Vahvojen sidosten ominaisuudet

! Luvun sisällys

- **Kiinteän aineen rakenne**
- **Alkuaineella on kovalenttinen hila**
- **Molekyylihilan vahvuus vaihtelee**
- **Suolojen kiteissä on ionihila**
- **Kidehila määrää kiinteän aineen ominaisuudet**

Saharan ruusu on kiteytynyttä piidioksidia.

Suolojen kiteissä on ionihila.



Timantti on maailman kovin aine.

→ Osaat jo…

- Olet opiskellut tämän jakson aiemmissa luvuissa, millaisia erilaisia kemiallisia sidoksia eri alkuaineet muodostavat.
- Tiedät, että aineen jaksolliset ominaisuudet määräävät syntyvän sidoksen tyypin ja laadun.

↓ Opiskelet nyt…

- miten erilaiset sidokset vaikuttavat alkuaineiden, suolojen ja molekyylien kiinteän aineen rakenteeseen, kidehilaan.
- Opit lisäksi, että kidehilan rakenne vaikuttaa siihen, miten aineet käyttäytyvät.

Opiskelet myöhemmin… →

- Jaksossa IV perehdyt heikkoihin sidoksiin ja niiden ominaisuuksiin.
- Opit myös, että vedellä on aivan erityisiä ominaisuuksia.

Kiteinen piidioksidi eli kvartsi (vuorikristalli)

Amorfinen piidioksidi eli kalsedoni

Tulivuoren purkauksissa muodostuu vulkaanisia kiviä, joiden sisälle muodostuu agaatteja. Ne sisältävät amorfista kalsedonia raitoina.

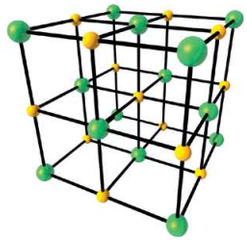
Pakkauksissa oleva kuivausainepussi sisältää amorfista piidioksidia, joka on valmistettu natriumsilikaatista.

Lasisia ja muovisia pulloja lajiteltuna kierrätyskeskuksessa.

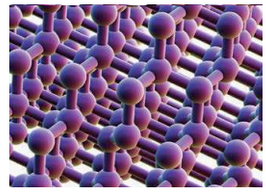
Kiinteän aineen rakenne

Aineen rakenneosasten välinen vuorovaikutus on voimakkainta kiinteässä olomuodossa, jossa rakenneosaset ovat jähmettyneet lähes paikoilleen, lähelle toisiaan. Kiinteä aine on rakenteeltaan joko **kiteistä** tai **amorfista**. Useimmat kiinteät aineet ovat kiteisiä. Kun aine on kiteistä, siinä olevat rakenneosaset ovat järjestäytyneet toisiinsa nähden säännölliseen jatkuvaan muotoon **kidehilaksi**. Kidehilan muodostavat yksittäisistä aineen osasista muodostunut, tietyn geometrisen muodon omaava **alkeiskoppi**, jonka muoto monistuu läpi koko kiteen jättiläishilaksi.

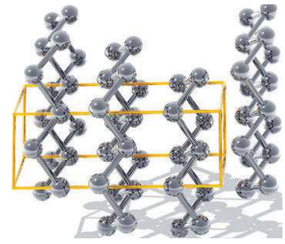
Esimerkkejä erilaisista kidehiloista



Ruokasuola NaCl-kide



Timantin kidehilan malli



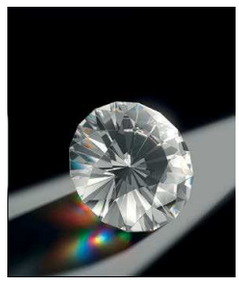
Arseenin As kiderakenne

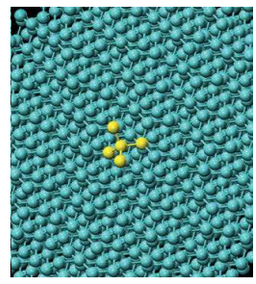
Usein kiteen säännöllisen rakenteen voi nähdä paljaalla silmällä, kuten sivun yläosan kuvan kiteisessä piidioksidissa eli kvartsissa.

Amorfisella aineella ei ole säännöllistä rakennetta, vaan siinä aineen osaset ovat järjestäytymättöminä eikä rakenteeseen ole muodostunut hilarakennetta. Esimerkiksi lasi ja kestomuovit ovat amorfista ainetta. Amorfisia aineita on helppo muokata kuumentamalla rakenteen kärsimättä. Tästä syystä ne soveltuvat hyvin kierrätykseen.

Alkuaineilla on kovalenttinen hila

Timantti on esimerkki aineesta, jossa on **kovalenttinen hila**. Timantti on puhdasta hiiltä, jossa kaikkien hiiliatomien välillä on vahva kovalenttinen sidos. Myös kiteisessä kvartsissa on kovalenttinen hila, jossa SiO_4-tetraedrit muodostavat säännöllisen verkoston.





Timantti on kiteistä hiiltä, jossa jokainen hiiliatomi on sitoutunut tetraedrin muotoon neljään muuhun hiiliatomiin. Hiiliatomien välillä on kovalenttinen sidos.

Timanttiterä, jota käytetään maakaasun porauksessa.

Hiilen eri muodot
Hiilellä on kiteisten timantin ja grafiitin lisäksi amorfisia muotoja, joita esiintyy kivi- ja puuhiilessä.

Grafiitin tavoin sitoutuneet hiilet voivat myös muodostaa pallomaisen rakenteen fullereenin. Joskus sitä kutsutaan myös hiilen kolmanneksi allotroopiksi, vaikka se on vain grafiitin yksi alamuoto.

Timantissa on täydellisin kovalenttinen hila

Kovalenttisen hilan muoto ja vahvat kovalenttiset sidokset ovat syynä sille, että timantti on kovinta tunnettua luonnosta löytyvää ainetta ja sen sulattaminen nestemäiseksi hiileksi on käytännössä mahdotonta. Timantit ovat myös hyviä lämmönjohteita, koska hiiliatomien lämpövärähtely pääsee johtumaan hyvin kovalenttisessa hilassa. Kovuutta ja lämmönjohtavuutta käytetään hyväksi timanttiporanterissä. Timanttiterät leikkaavat kaikkia tunnettuja aineita, ja kitkalämpö johtuu hyvin pois. Lämmönjohtavuutta hyödynnetään suuritehoisten tietokoneiden komponenttien alustoissa estämässä ylikuumenemista. Timantteja käytetään myös biologiseen ympäristöön tarkoitetuissa elektronisissa komponenteissa, koska ne ovat inerttejä eli eivät reagoi biologisen kudoksen kanssa.

Yhdellä aineella voi olla erilaisia rakenteita

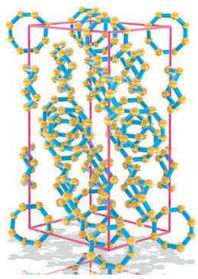
Samalla alkuaineella voi olla useampia erilaisia esiintymismuotoja eli **allotrooppeja**. Kiinteällä aineella tämä tarkoittaa sitä, että eri allotroopeilla on erilainen hilarakenne. Erilaiset hilarakenteet vaikuttavat aineen ominaisuuksiin. Hiilellä on kaksi erilaista allotrooppista muotoa: timantti ja grafiitti. Timantti muodostaa tetraedrisen rakenteen ja kaikkien hiiliatomien välissä olevat sidokset ovat yksinkertaisia kovalenttisia sidoksia. Myös grafiitin sidokset ovat kovalenttisia, mutta osa sidoksista on kaksoissidoksia. Tämän seurauksena grafiitti ja sen johdannaiset johtavat sähköä, mutta timantti ei. Grafiitti muodostuu litteistä verkkomaisista grafeenikerroksista. Ne ovat kiinni toisissaan metallin tavoin vapailla elektroneilla, jolloin ne voivat liukua toistensa ohi. Tästä syystä grafiitti on pehmeää ja muokattavaa. Grafiitin tätä ominaisuutta hyödynnetään lyijykynissä, joiden terä ei siis ole lyijyä vaan grafiittia. Hienojakoista grafiittia, grafiittirasvaa, käytetään kitkan alentajana koneissa, joissa tarvitaan kulutuksen ja kuumuuden kestoa.

✔ Osaatko?

Timantti ja grafiitti ovat molemmat puhdasta hiiltä. Miksi timantti on maailman kovinta ainetta, mutta grafiitti on pehmeää ja rasvaista?

!

Rikillä, S, on useita erilaisia muotoja. Kiteisenä rikki voi esiintyä muodoissa S_8 ja S_6. Rikkiatomien välillä on kovalenttinen sidos, mutta rikkirenkaat muodostavat keskenään molekyylihilan.

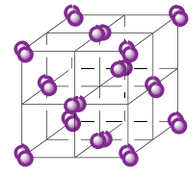


Rikillä on myös amorfinen muoto, jota saadaan kuumentamalla kiteistä rikkiä.

Molekyylihilan vahvuus vaihtelee

Aineissa, joilla on kiteinen molekyylirakenne, molekyylit ovat järjestäytyneet **molekyylihilaksi**. Molekyylihilasta muodostuneet aineet luokitellaan omaksi ryhmäkseen, vaikka erilaisten molekyylien hilat ovat hyvin eri vahvuisia. Molekyylien sisällä atomit ovat sitoutuneet toisiinsa voimakkailla kovalenttisilla sidoksilla, mutta hilaa koossa pitävät molekyylien väliset sidokset ovat heikkoja. Alkuainemolekyylit ovat poolittomia ja niiden molekyylihilat ovat hyvin heikkoja. Atomien välissä on vain hyvin heikkoja **dispersiovoimia**, joissa on hyvin vähäistä sähköistä vuorovaikutusta.

Esimerkki: Mitä rakennetta ylläpitäviä voimia löytyy kiinteästä jodimolekyylistä?



Alkuaine jodi esiintyy kaksiatomisena molekyylinä I_2. Jodi on huoneenlämmössä kiinteä aine. Poolittomien jodimolekyylien väliset heikot sidokset katkeavat jo hyvin vähäisellä lämmittämisellä. Kiinteä jodi sublimoituu jo huoneenlämmössä.
Kiinteässä jodissa atomien välillä on kovalenttinen yksöissidos, ja kidettä pitää kasassa heikko sähköinen vuorovaikutus, dispersiovoima.

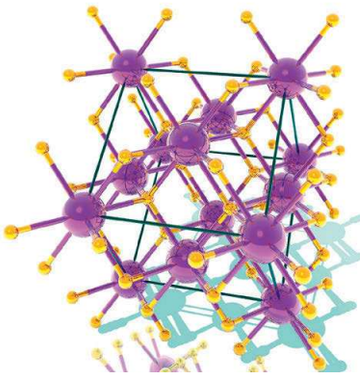
Myös hiilidioksidi CO_2 on pooliton molekyyli eli kiinteässä olomuodossa sen molekyylien välillä on heikkoja sidoksia. Mitä poolisempi molekyyli on, sen vahvempi on myös sen kidehila. Vahvoja molekyylihiloja on esimerkiksi ruokosokerilla ja jäätyneellä vedellä. Molekyylihila on aina kovalenttista hilaa ja molekyylin atomien välisiä kovalenttisia sidoksia heikompi.

✔ Osaatko?

Kuivajää on kiinteää hiilidioksidia, joka sublimoituu –78 °C:n lämpötilassa.

Laita seuraavien aineiden kiinteän olomuodon kiteet vahvuusjärjestykseen vahvimmasta heikoimpaan.

Hiili ($C_{grafiitti}$) rikki (S_2) jää (H_2O) Hiili ($C_{timantti}$)

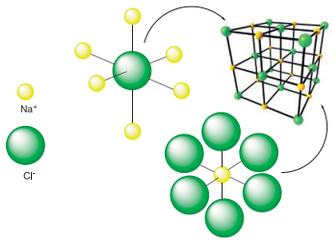


Ionien koot vaihtelevat suuresti. Eri ioneilla on myös erilaiset varaukset. Molemmat seikat vaikuttavat ionihilan muotoon ja ionien koordinaatioluku.
Otetaan esimerkiksi CaF_2. Koska kalsium muodostaa Ca^{2+} -ionin, tarvitsee se ympärilleen kaksi F^- -ionia.

Suolojen kiteissä on ionihila

Opiskelit luvussa 11, miten metallista ja epämetallista muodostuu ioneja, kun metalli luovuttaa hapettuessaan epämetallille elektroneja. Näin syntyviä yhdisteitä kutsutaan ioniyhdisteiksi eli suoloiksi, ja niiden rakenneosien eli ionien välillä on hyvin vahva erimerkkisten varausten vetovoima, ionisidos. Kiinteässä olomuodossa suoloissa on **ionihila**, jossa positiiviset kationit ja negatiiviset anionit vuorottelevat ja rakenne pysyy koossa ionisidosten ansiosta. Esimerkiksi ruokasuola, NaCl, ei muodostu yksittäisistä ionien Na^+ ja Cl^- pareista, vaan kuution muotoisesta alkeiskopista, jossa jokaista Na^+ -ionia ympäröi kuusi Cl^- -ionia ja jokaista Cl^- -ionia kuusi Na^+ -ionia. Ioniin sitoutuneiden vastakkaismerkkisten ionien lukumäärää kutsutaan koordinaatioluvuksi. Natriumkloridissa sekä natriumin että kloorin koordinaatioluku on kuusi. Alkeiskoppi monistuu avaruudessa joka suuntaan, jolloin muodostuu jättiläishila, jossa kaikkien ionien välissä on ionisidos.

Kalsiumfluoridia esiintyy luonnossa fluoriittimineraalissa. Fluoriitissa kalsiumin koordinaatioluku on 4 ja fluoridin 8.



Kiteessä ionien Na^+ ja Cl^- määrien suhde on aina 1:1, mutta ne asettuvat kuutioksi siten, että kumpaakin ympäröi kuusi vastakkaista ionia. Keskimmäisessä kuvassa on elektronimikroskooppikuva NaCl:n kiteestä. Natriumkloridin alkeiskopin kuutiollisuus monistuu läpi koko ionihilan, ja se voidaan havaita paljain silmin kiteisessä suolassakin.

E Esimerkki

Miksi natriumkloridissa Na^+ -ionien ja Cl^- -ionien koordinaatioluku on molemmilla sama, 6, mutta kalsiumfluoridissa F^- -ionien koordinaatioluku 8 on kaksinkertainen Ca^{2+} -ionien koordinaatiolukuun 4 nähden?

Ratkaisu:
NaCl-ionin kidehilassa tulee olla sama määrä Na^+ -ioneja ja Cl^- -ioneja, koska sillä tavoin ionista tulee ulospäin sähköisesti neutraali. Koska kalsiumionin varaus on +2, tarvitsee jokainen niistä kaksi F^- -ionia neutraloimaan sähkövarauksen. Luvut 6 NaCl:lle ja 4 ja 8 CaF_2:lle tulevat siitä, että näin saadaan mahdollisimman säännöllinen rakenne juuri tämän kokoisille ioneille.

D Demonstraatio

$CuSO_4 \cdot 5\ H_2O$ kuumennetaan

Ota kuumuutta kestävään koeputkeen lusikankärjellinen sinistä kuparisulfaattia ($CuSO_4 \cdot 5\ H_2O$). Kuumenna putkea kaasuliekissä. Kuvaile, mitä kuparisulfaatille tapahtuu kuumennuksen aikana. Mitä ainetta on koeputken seinämään muodostuva neste? Lisää koeputkeen muutama pisara vettä. Mitä havaitset?

Rapautuneeseen kuparisulfaattiin lisätään vettä.

Ionihilassa voi olla kidevettä

Joskus ioniyhdisteen kidehilaan kiteytyy mukaan vettä ja vesi muodostaa osan alkeiskoppia. Tällaista kidehilaan kiteytynyttä vettä kutsutaan **kidevedeksi**. Kuparisulfaatin kiteytyessä yksi Cu^{2+} -ioni ja yksi SO_4^{2-} -ioni saavat ympärilleen 5 vesimolekyyliä. Kidevedellistä kuparisulfaattia merkitään seuraavasti: $CuSO_4 \cdot 5\ H_2O$. Kun kidevedellistä suolaa kuumennetaan, kidevesi haihtuu ja kiderakenne hajoaa. Tätä tapahtumaa kutsutaan rapautumiseksi.

Kidehila määrää kiinteän aineen ominaisuudet

Kiinteän aineen rakenne eli hilatyyppi määrää, millaisia fysikaalisia ominaisuuksia aineella on. Kiteessä olevista sidoksista vahvin on ionisidos, joka on noin 5 kertaa vahvempi kuin kovalenttisessa hilassa oleva kovalenttinen sidos. Heikoin sidos on metallihilan positiivisten ionien välinen metallisidos, joka on hieman kovalenttista sidosta heikompi. Eri sidosten sidosvahvuudet on taulukoitu visuaalisessa kertauksessa sivulla 109.

!

Erilaisia kidevedellisiä suoloja ja niiden käyttökohteita:

- Glauber-suola: $Na_2SO_4 \cdot 10\ H_2O$ käytetään pesuaineiden valmistuksessa ja selluteollisuudessa
- Epsom-suola: $MgSO_4 \cdot 7\ H_2O$ kylpysuola
- Kidevedettömässä muodossa kuivausaineena käytetään $CaCl_2$, $MgSO_4$ ja $CuSO_4$

Suoloilla on korkeat sulamispisteet

Vastakkaismerkkisten ionien vetovoima on niin suuri, että ionihilaisilla aineilla on hyvin korkeat sulamispisteet verrattuna molekyylihilaisiin yhdisteisiin. Esimerkiksi ruokasuolan, NaCl, sulamispiste on 801 °C, sillä sen jokaisen ionin välillä on vahva ionisidos. Ruokosokeri taas sulaa jo 185 °C:ssa, sillä sen molekyylien välinen sähköinen vetovoima on ionisidosta paljon heikompi, vaikka molekyylien sisällä onkin vahvat kovalenttiset sidokset.

Ruokasuola on natriumkloridia, joka on ioniyhdiste.

Poolisilla molekyyleillä on vahva kidehila

Molekyylihilojen vahvuus vaihtelee suuresti sen mukaan, mitkä ovat molekyylien poolisuusominaisuudet. Heikoimpia sidoksia on kiinteillä alkuainemolekyyleillä. Esimerkiksi jodikiteet sublimoituvat jo huoneenlämmössä, kun I_2-molekyylien väliset heikot dispersiovoimat eivät riitä pitämään molekyylihilaa kasassa.

Poolisilla sokeri- ja vesimolekyyleillä on vahvemmat molekyylihilat. Palaamme poolisten molekyylien välisiin vuorovaikutuksiin luvussa 14 ja veden erityisominaisuuksiin luvussa 16.

Ruokosokeri muodostuu sakkaroosimolekyyleistä.

Metalleja voi muokata

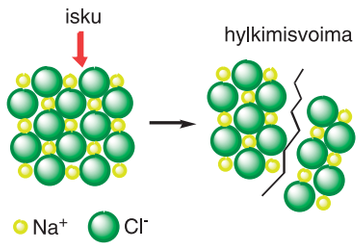
Metallien sulamispisteet riippuvat sekä metalliatomin sijainnista jaksollisessa järjestelmässä että sen muodostaman metallihilan tiiviydestä. Kevytmetalleilla on alhaiset sulamispisteet ja raskasmetalleilla korkeat. Esimerkiksi suurikokoisen mutta tiheydeltään alhaisen (1,85 kg/dm^3) alkalimetallin cesiumin (Cs) sulamispiste on 28,4 °C, mutta tiheä (7,87 kg/dm^3) siirtymämetalli rauta (Fe) sulaa vasta 1 535 °C:n kuumuudessa.

Metallihilassa on vapaasti liikkuvia elektroneja, joiden ympärillä on positiivisten kationien kerroksia. Kerrokset voivat liukua toistensa ohi, ja metalleja voidaan muokata rakenteen murtumatta. Siksi esimerkiksi kuparista voidaan valmistaa käyttöesineitä takomalla. Ionihilaiset ja molekyylihilaiset aineet pysyvät koossa paikallaan pysyvien sähköisten varausten ja vuorovaikutusten avulla, eikä niiden rakenne jousta. Isku esimerkiksi ruokasuolan ionihilaiseen kiteeseen aiheuttaa sen, että ionihilan samanmerkkiset ionit joutuvat liian lähelle toisiaan ja hylkivät toisiaan. Tämän seurauksena kide hajoaa. Molekyylihilan heikot vuorovaikutukset eivät kestä mekaanista kulutusta, ja esimerkiksi ruokosokerin molekyylihilaiset kiteet murtuvat iskusta.

Metallihila

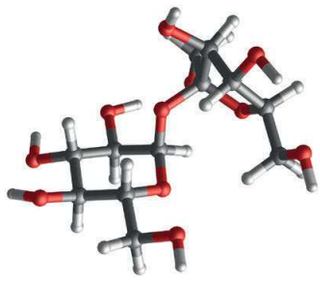
Kuparipannuja on valmistettu takomalla, jolloin paksu metallilevy ohenee, mutta ei murru.

Ionihila



Iskun seurauksena ionit liikahtavat ja saman merkkiset ionit hylkivät toisiaan: ionihila murtuu.

Molekyylihila



Ruokosokerissa on molekyylien välillä joustamaton molekyylihila, joka murtuu iskusta.

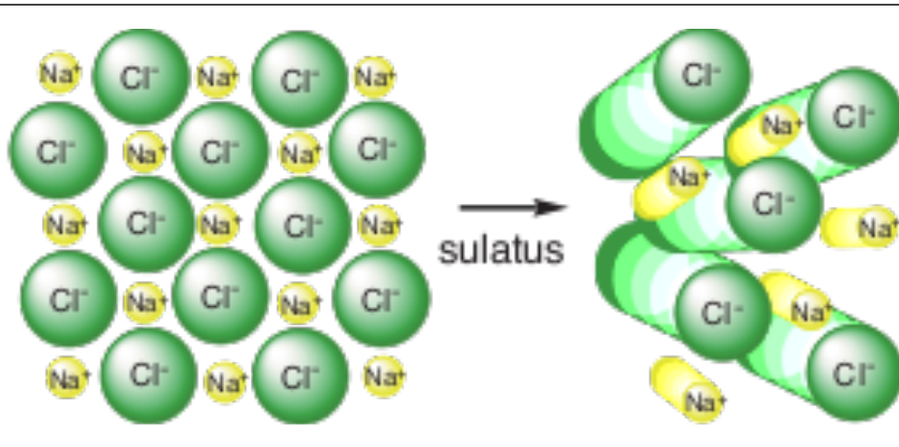
Sähkönjohtavuus

Aine voi johtaa sähköä, jos siinä on vapaasti liikkuvia elektroneja. Tästä syystä metallit johtavat hyvin sähköä. Grafiitti on myös erinomainen sähkönjohde, koska siinä olevien grafeenikerrosten välissä on vapaasti liikkuvia elektroneja.

Grafiitti, fullereeni ja erilaiset nanoputkirakenteet ovat kaikki muodostuneet grafeenista. Nämä hiilen rakenteet ovat sähköä johtavia.

Tätä sähkönjohtavuutta hyödynnetään monipuolisesti elektroniikkateollisuudessa.

Suolat eivät johda sähköä kiinteässä olomuodossa. Ionihilassa vastakkaismerkkiset ionit ovat tiukasti paikallaan, eikä siinä ole vapaasti liikkuvia elektroneja. Suoloja voidaan sulattaa. Nestemäisessä olomuodossa ionit pääsevät liikkumaan vapaasti nesteen sisällä, ja myös sähkö pääsee kulkemaan sulassa suolassa.



Molekyylihilassa ei ole vapaita elektroneja, minkä vuoksi molekyyliyhdisteet eivät johda sähköä. Päinvastoin molekyylihilaisia aineita voidaan hyödyntää eristeinä.

? Pohdi

Mitä on sulaminen? Miten voit päätellä sulamispisteestä kiinteän aineen hilan vahvuuden? Mitä muuta voit päätellä sulamispisteestä?

HARJOITUSTEHTÄVÄT

P Perustehtävät

92. Selitä seuraavat käsitteet. Anna esimerkki jokaisesta.
a. hila **b.** amorfinen aine **c.** allotropia **d.** koordinaatioluku

93. **a.** Millä perusteella kiteiset aineet luokitellaan eri hilatyyppeihin?
b. Miten veden molekyylihila eroaa timantin kovalenttisesta hilasta?

94. Valitse kullekin yhdisteelle oikea hilarakenne. Perustele valintasi.

Yhdiste	**Hilarakenne**
vetyjodidi HI	metallihila
volframi W	pooliton molekyylihila
metaani CH_4	poolinen molekyylihila
kaliumbromidi KBr	ionihila
ammoniakki NH_3	

95. Valitse jokaiselle aineelle sopivia ominaisuuksia.

Aine	**Ominaisuus**
Au	kiderakenne rikkoutuu iskusta
$H_2O(s)$	johtaa sähköä kiinteänä
$MgCl_2$	muodostaa kovalenttisen hilan
P_4	johtaa sähköä sulana
grafiitti	helposti muokattavaa

96. Anna kemiallinen perustelu, miksi
a. peili heijastaa valoa
b. vesi kiehuu nopeammin kattilassa kuin dekantterilasissa
c. kipsinen patsas lohkeaa, jos se putoaa lattialle
d. saunassa metalliesineet tuntuvat polttavan kuumilta, mutta puiset lauteet eivät polta
e. kaivosporien terät on päällystetty timanteilla.

Sy Syventävät

97. Mikä sidos muodostuu seuraavien aineiden ainesosien välille niiden kiinteässä olomuodossa?
a. $CaCO_3$ **b.** SiO_2 **c.** S_8 **d.** Ag **e.** H_2S

98. Selitä, miksi magnesiumkloridilla $MgCl_2$ on enemmän ioniluonnetta kuin alumiinikloridilla $AlCl_3$ ja tällä puolestaan enemmän kuin piitetrakloridilla SiO_4. Esitä päättelyysi perustuen kunkin aineen kidehilan malli.

99. Ota selvää, kummalla seuraavien parien aineista on korkeampi sulamispiste. Perustele järjestys aineen rakenteen perusteella.

a. alumiini Al ja kloori Cl_2

b. alumiinikloridi $AlCl_3$ ja alumiinioksidi Al_2O_3

c. natriumkloridi NaCl ja natriumjodidi NaI

d. natrium Na ja magnesium Mg

100. Selitä metallisidoksen avulla,

a. miksi natrium Na on pehmeää ja veitsellä leikattavaa, mutta rauta Fe lujaa ja sitkeää

b. miksi natrium sulaa noin 100 °C:ssa, kun rauta vaatii sulaakseen noin 1500 °C:n lämpötilan?

So Soveltavat

101. Alkuaine A sulaa 649 °C:ssa. Sytytettäessä se palaa kirkkaalla liekillä ja muodostaa valkoisen oksidin AO, jolla on korkea sulamispiste (2830 °C). A muodostaa kloorin kanssa yhdisteen, joka sulana johtaa sähköä.

a. Onko AO ioni- vai molekyylirakenteinen?

b. Onko A:n ja kloorin muodostama yhdiste ioni- vai molekyylirakenteinen?

c. Onko A:n elektronegatiivisuus suuri vai pieni?

d. Johtaako A sähköä?

e. Onko A metalli vai epämetalli?

f. Mihin pääryhmään A todennäköisesti kuuluu?

102. Piirrä käsitekartta tai kirjoita esseevastaus (reaalivastaus), johon sisällytät kaikki alla luetellut sanat. Anna keskuskäsite tai otsikko.
kovalenttinen hila, dispersiovoima, heikko sähköinen vetovoima, poolinen molekyylihila, ionihila, metallihila, kovalenttinen sidos, erimerkkiset ionit, ionisidos, metallisidos, pooliton molekyylihila, alkuaine, atomi, molekyyli kationi, anioni, elektronegatiivisuus

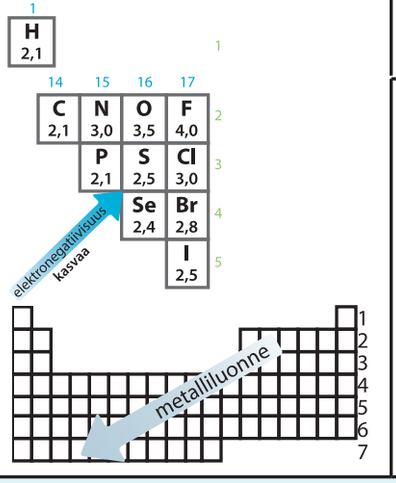
R Ryhmätehtävä

R25. Ihmeellinen alkuaine hiili
Valitkaa ryhmällenne yksi hiilen muodoista: timantti, grafiitti, grafeeni, nanoputket, fullereeni tai nanoputket. Kirjoittakaa esitys valitsemanne kemiallisista ja fysikaalisista ominaisuuksista sekä käyttösovelluksista.

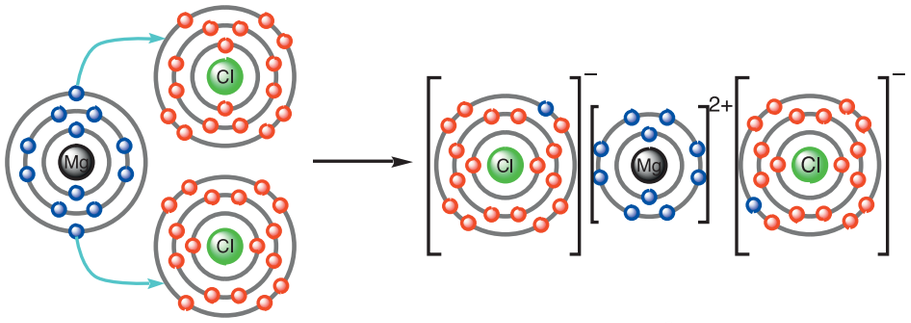
R26. Tutkikaa eri lähteistä mineraalien kidemuotoja. Valitkaa tarkempaan selvitykseen joku luvun 3 Maankuoren alkuaineet mineraaleista. Laatikaa malli ja antakaa sille kemialliset perustelut valitsemastanne mineraalista.

Visuaalinen kertaus

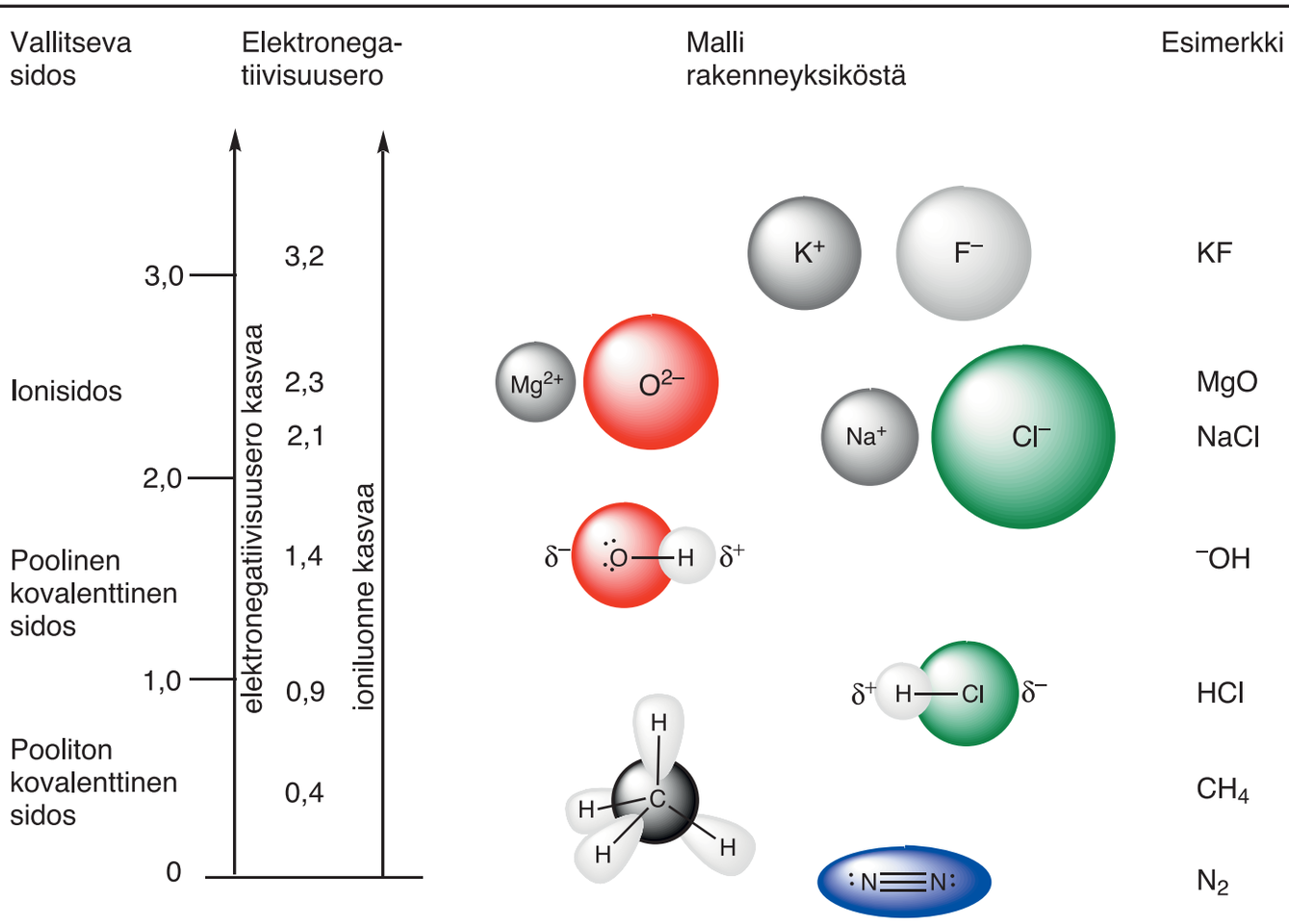
Sidos- eli valenssielektronit	Molekyyli	Elektronegatiivisuus
ovat elektroneja, jotka kemiallisessa reaktiossa voivat siirtyä kokonaan tai osittain atomilta toiselle.	on varaukseton kahden tai useamman atomin muodostama yksikkö.	kuvaa alkuaineen kykyä vetää puoleensa yhteisiä sidoselektroneja kovalenttisessa sidoksessa.



Magnesiumkloridissa yksi metallinen magnesium Mg luovuttaa uloimman kuoren molemmat elektroninsa kahdelle klooriatomille Cl



Sidoksen ioniluonne kasvaa, kun atomien välinen elektronegatiivisuusero kasvaa



IV HEIKOT SIDOKSET

14 Molekyylien väliset sidokset
15 Heikkojen sidosten ominaisuudet
16 Veden erityis-ominaisuudet

Aineet voivat olla kovia tai pehmeitä, kiinteitä, nesteitä ja kaasuja. Mutta onko lumihiutaleiden muotokin kemiaa?

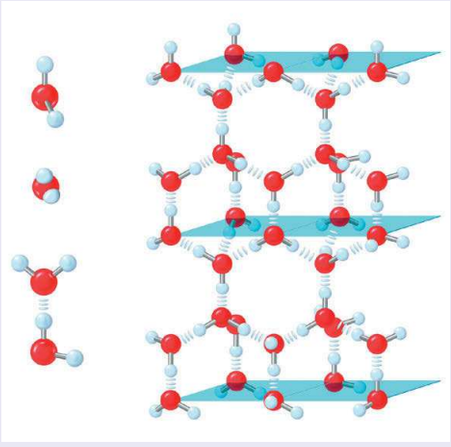
Molekyylien ominaisuudet vaikuttavat niiden ilmenemismuotoihin. Aineen siirtyessä olomuodosta toiseen muutoksia tapahtuu niissä sidoksissa, joita kutsutaan heikoiksi sidoksiksi. Jotta ymmärtäisimme helpommin, mitä olomuodon muutoksessa tapahtuu, voimme tarkastella aineita ikään kuin pieninä magneetteina. Magneetit voivat hylkiä toisiaan tai vetää toisiaan puoleensa. Lisäksi magneetit voivat liikkua eri tavoin sekä pyöriä yksin ja keskenään. Atomeilla ja molekyyleillä tämä vastaava liikehdintä ilmenee olomuotojen muutoksina.

Kemiallisia sidoksia esiintyy siis aineen sisäisen rakenteen pitämisen lisäksi sen muodon ylläpitäjänä. Tässä jaksossa tutustumme tarkemmin siihen, miten olomuodon muutoksissa tapahtuu muutoksia myös aineen osasten välisissä heikoissa sidoksissa.

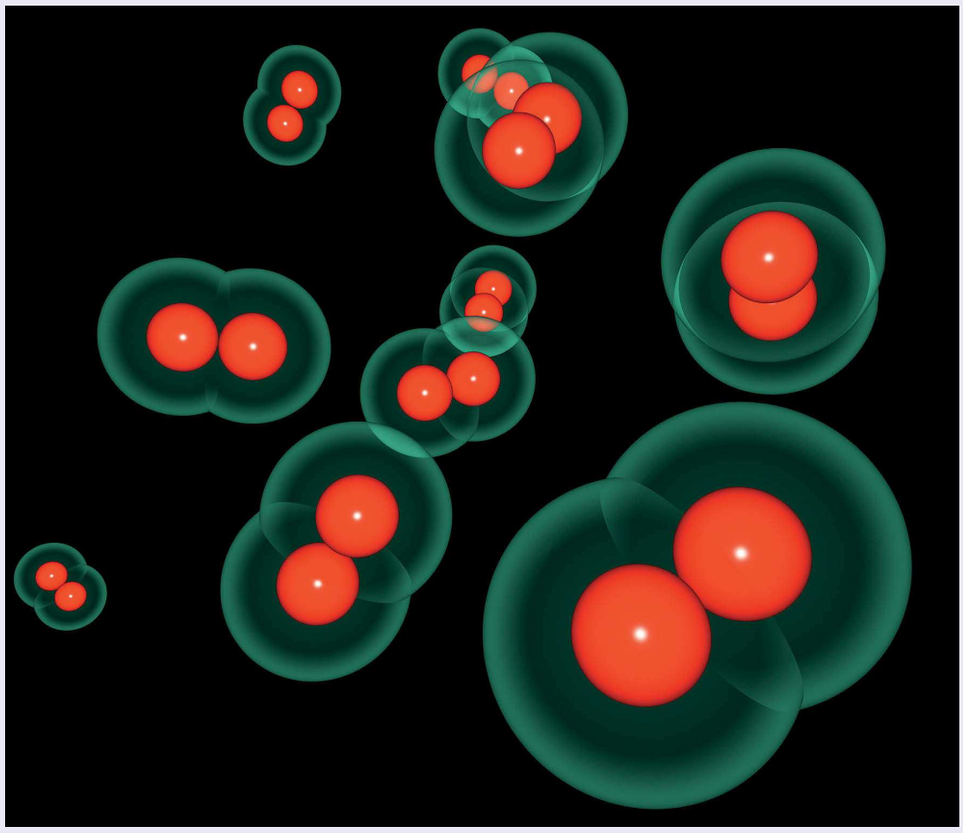
14 Molekyylien väliset sidokset

! Luvun sisällys

- **Molekyylien välillä on heikkoja sidoksia**
- **Dispersiovoimat**
- **Dipoli-dipolisidokset**
- **Vetysidos**
- **Poikkeuksellisia sidoksia**



Mallikuva vesimolekyylien välisistä voimista.



Happimolekyylien välillä on vain heikkoja dispersiovoimia.

Hämähäkinseitti pysyy koossa proteiinimolekyylien välisillä vetysidoksilla.

→ Osaat jo…

- Aivan kurssin alussa, luvuissa 1–2 opiskelit olomuotojen muutoksista ja niihin liittyvistä energiamuutoksista.
- Opit myös, miten aineita luokitellaan.
- Jaksossa III opiskelit millaisia ovat vahvat sidokset atomien ja ionien välillä.

↓ Opiskelet nyt…

- Vahvojen sidosten lisäksi on olemassa heikkoja sidoksia, joita esiintyy molekyylien välillä.
- Heikkojen sidosten laatu vaikuttaa molekyylien fysikaalisiin, ja jonkin verran myös kemiallisiin ominaisuuksiin.

Opiskelet myöhemmin… →

- Tämän jakson viimeisissä luvuissa opit, millaisia vaikutuksia heikoilla sidoksilla on olomuotojen muutoksiin ja erilaisten nesteiden ja liuosten ominaisuuksiin.
- Luvussa 16 perehdyt elämälle olennaisen nesteen, veden erityisominaisuuksiin.

Molekyylien välillä on heikkoja sidoksia

Edellisessä jaksossa keskityimme opiskelemaan, mitkä voimat sitovat alkuaineita yhteen kemiallisiksi yhdisteiksi. Kutsuimme näitä vahvoja sähköisiä vuorovaikutuksia kemiallisiksi sidoksiksi. Nämä voimat ovat molekyylin sisäisiä eli ***intra*molekulaarisia voimia** (sisäinen, lat.) Ioniyhdisteissä vastakkaismerkkisten ionien välissä on vahva sähköinen vetovoima, ionisidos. Molekyyleissä atomien välillä on vahvoja kovalenttisia sidoksia. Metalleilla on omanlaisensa sidos, metallisidos.

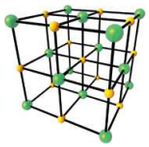
Nämä vahvat sidokset määräävät atomi- ja molekyylitasolla, millaisia kemiallisia ominaisuuksia eri aineilla on. Esimerkiksi poolisuus on tällainen ominaisuus. Vahvat sidokset vaikuttavat myös molekyylin muotoon.

Aineiden välilläkin esiintyy vuorovaikutuksia. Myös nämä ovat luonteeltaan sähköisiä, mutta huomattavasti heikompia kuin vahvat kemialliset sidokset. Heikkoja vuorovaikutuksia esiintyy lähinnä molekyylien välillä kaikissa olomuodoissa ja tämän lisäksi erilaisissa liuoksissa (ks. liuosten ominaisuuksista tarkemmin luku 15). Molekyylien välisiä heikkoja sidoksia kutsutaan myös ***inter*molekulaarisiksi voimiksi** (välinen, lat.). Ne määräävät aineen fysikaaliset ominaisuudet, kuten sulamis- ja kiehumispisteet.

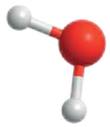
!

MUISTATKO?

NaCl:ssa on vahva erimerkkisten varausten vetovoimaan perustuva ionisidos.

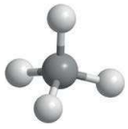


Vesi on vahvasti poolinen molekyyli.

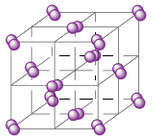


Veden rakenteeseen jää osittaisvarauksia, jotka eivät kumoudu. Tällainen rakenne on nimeltään **pysyvä dipoli**.

Molekyylin muoto kumoaa poolisuuden metaanimolekyylissä.



Alkuainejodin I_2 atomien välissä on kovalenttinen sidos, mutta kidettä pitää koossa heikko sähköinen vuorovaikutus.



? Pohdi

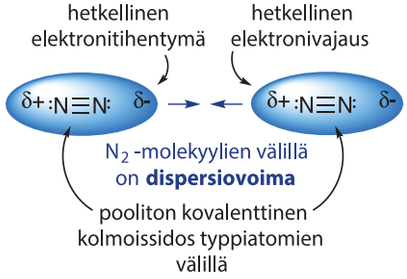
Miksi maakaasun eli metaanin (CH_4) kiehumispiste on –164 °C, mutta samankokoisista H_2O -molekyyleistä koostuvan veden 100 °C?

Dispersiovoimat

Jos molekyyli on ulospäin pooliton, kuten metaani tai alkuainemolekyylit vety (H_2) ja typpi (N_2), esiintyvät ne huoneenlämpötilassa useimmiten kaasuina. Näiden aineiden hyvin alhainen kiehumispiste selittyy sillä, että molekyylien välillä on vain hyvin heikko sähköinen vuorovaikutus, **dispersiovoima**. Elektronien jatkuva liike atomiytimen ympärillä aiheuttaa molekyyliin hetkellisesti epätasaisen elektronijakauman eli **hetkellisiä dipoleja**.

!

Elektronien liike aikaansaa hetkellisiä dipoleja, joista seuraa dispersiovoima molekyylien välille.



Varauksen induktio etenee aineessa ketjureaktiona ja hetkellisiä dipoleja syntyy kaikkialle.

!

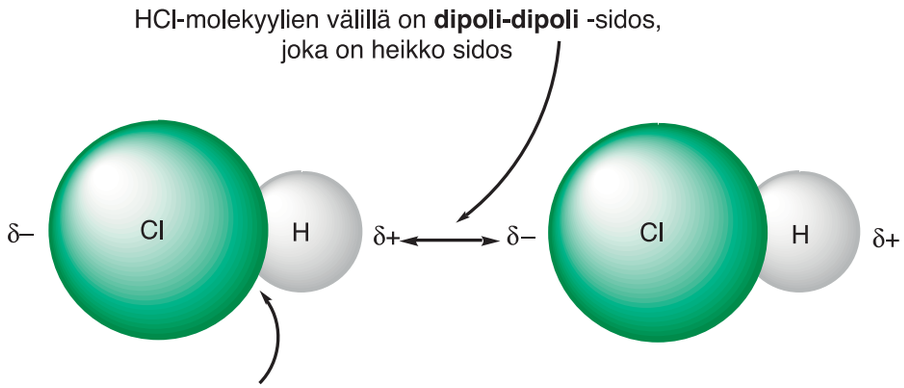
MUISTATKO?
Palauta mieleesi, mitä seuraavat käsitteet tarkoittavat:
- **elektronegatiivisuus**
- **osittaisvaraus δ– ja δ+**
- **pooliton kovalenttinen sidos**
- **poolinen kovalenttinen sidos**
- **poolinen molekyyli**
- **dipoli**

Dipoli-dipolisidokset

Luvussa 12 kerrottiin, että eri epämetalleilla on erilainen kyky vetää puoleensa elektroneja, kun ne ovat sitoutuneet toiseen, eri epämetallin atomiin. Samassa luvussa opiskelit, että kaikki molekyylit eivät ole symmetrisiä. Epäsymmetrisyydestä seurasi se, että molekyylien poolisuus vaihtelee.

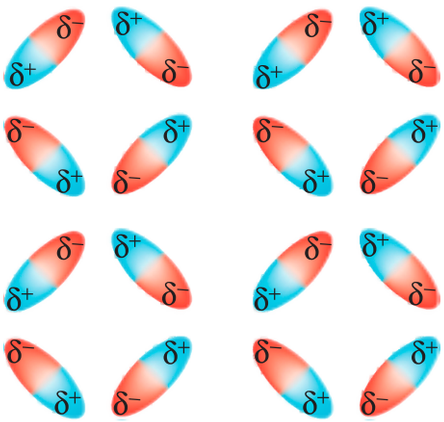
Poolisissa molekyyleissä on pysyviä dipoleja. Nämä järjestäytyvät siten, että vastakkaismerkkiset osittaisvaraukset ovat lähellä toisiaan. Kahden pysyvän dipolimolekyylin välille syntyy sähköinen vuorovaikutus, jota kutsutaan **dipoli-dipolisidokseksi**.

Dipoli-dipolisidos



Kloori Cl on elektronegatiivisempi kuin vety H. Tämän seurauksena vetykloridissa sidoselektronit jakautuvat epäsymmetrisesti ja molekyyliin muodostuu dipoli. Vierekkäiset HCl-molekyylit asettuvat siten, että vastakkaiset osittaisvaraukset δ^+ ja δ^- vuorottelevat ja HCl-molekyylien välille syntyy sähköinen vetovoima.

Dipoli-dipolisidos



Molekyylien lämpöliike heikentää sidosta.

Koska osittaisvaraukset δ^- ja δ^+ ovat aina elektronin kokonaisvarausta pienempiä, dipoli-dipolisidos on heikompi kuin ionisidos tai molekyylin sisäinen kovalenttinen sidos. Dipolimolekyyleillä on myös enemmän satunnaista lämpöliikettä jopa kiinteässä olomuodossa. Nämä kaksi tekijää, osittaisvaraukset ja lämpöliike, vaikuttavat siihen, että poolisten molekyylien sulamispisteet ovat alhaisempia kuin ionihilaisten aineiden eli suolojen sulamispisteet.

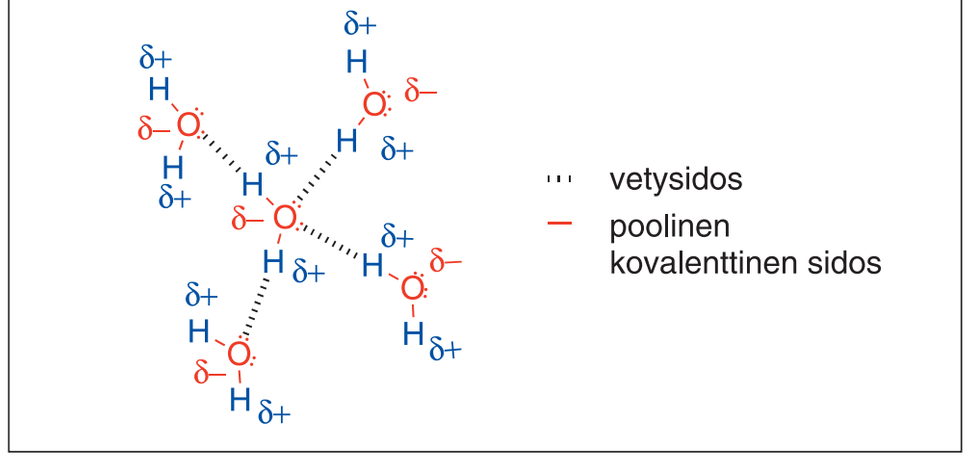
✔ Osaatko?

Laita seuraavien aineiden molekyylisidokset vahvuusjärjestykseen niiden molekyylien välisten sidosten perusteella.

H_2 NH_3 CO_2 CH_4

Vetysidos

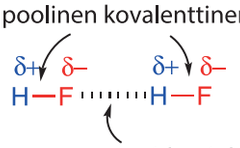
Dipoli-dipolisidoksia esiintyy siis kaikilla poolisilla molekyyleillä. Vahvimpia tällaisia molekyylien välisiä sidoksia ovat sellaiset, joissa dipolin toisen pään muodostaa vety ja toisen pään jokin elektronegatiivinen atomi, kuten fluori (F), happi (O) tai typpi (N). Nämä dipoli-dipolisidokset ovat saaneet erityisnimen **vetysidos**. Vaikka vetysidos on vahvin heikoista sidoksista, se on kuitenkin heikompi kuin alkuaineiden välinen kovalenttinen sidos. Erityisen vahva vetysidos on vesimolekyylien välillä. Veden erityisominaisuudet johtuvat veden poolisesta rakenteesta ja sen kyvystä muodostaa vetysidoksia. Tutustumme näihin tarkemmin luvussa 16.



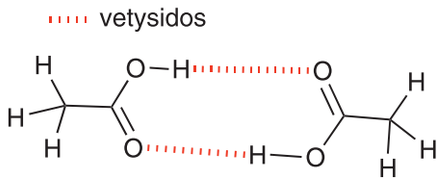
!

Vetysidos kahden HF-molekyylin välillä

poolinen kovalenttinen sidos



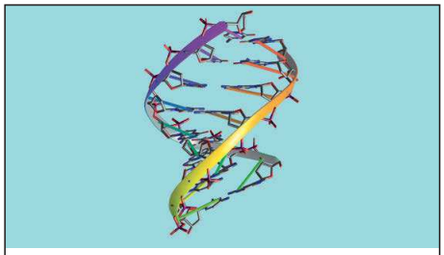
Ruuanlaitossa ja säilönnässä käytettävät etikat sisältävät pistävänmakuista etikkahappoa CH_3COOH.



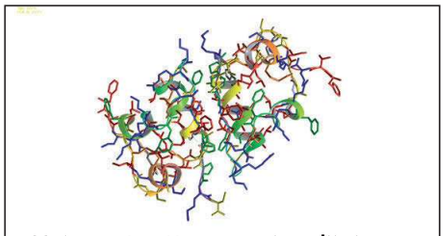
Etikkahappomolekyyli pystyy muodostamaan kaksi vetysidosta.

? **Pohdi**

Yksi vesimolekyyli pystyy muodostamaan yhteensä neljä vetysidosta, vaikka siinä on kolme atomia, joilla on osittaisvaraus. Osaatko kertoa, mikä tähän on syynä?



DNA:n kahta säiettä pitää yhdessä kierteen muodossa suuri joukko vetysidoksia.

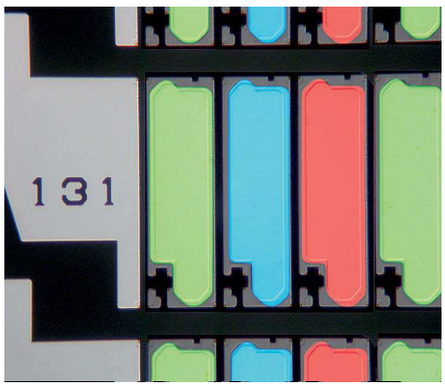


Haiman tuottamassa insuliiniproteiinissa on erilaisia rakenneosia, joissa esiintyy vetysidoksia.

Monissa hiilen orgaanisissa yhdisteissä vety on sitoutunut happeen tai typpeen. Nämä heteroatomeja sisältävät osat tekevät molekyyleistä usein poolisia, jolloin niissä esiintyy vetysidoksia.

Luonnonaineissa ja erityisesti elämälle tärkeissä molekyyleissä vetysidoksella on hyvin tärkeä rakenteellinen tehtävä kolmiulotteisen rakenteen määrittäjänä esimerkiksi DNA:n kierteiselle rakenteelle ja proteiinien laskostumiselle.

Yksinkertaisin nestekidenäyttö koostuu kahdesta läpinäkyvällä sähköä johtavalla kerroksella päällystetystä lasilevystä ja niiden välissä olevasta nestekiteisestä aineesta. Lasilevyjen ulkopuolella on suotimia, ja alimmaisena rakenteessa on peili. Lasilevyjen välille kytketty jännite ohjaa nestekiteen järjestäytymistä ja sitä kautta kuvan muodostusta.



Noin 200-kertainen suurennos tietokoneen kuvaruudun RGB*-näytön alipikseleistä, joissa on erivärisinä näkyviä nestekiteitä. Jokaisessa pikselissä on yksi kunkin väristä alipikseliä.
*(R = red, G = green, B = blue)

Poikkeuksellisia sidoksia

Nestekiteet

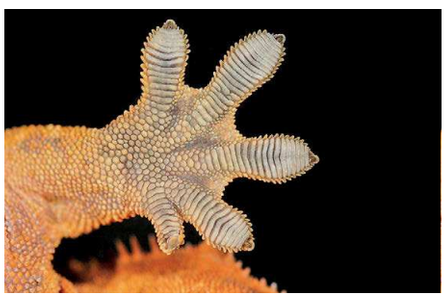
Nestekiteet ovat ominaisuuksiltaan jäykkäliikkeisen nesteen ja kiteisen aineen välimuotoja. Nestekiteet ovat tuttuja meille kaikille erilaisten kuvaruutujen nestekide- eli LCD-näytöistä. Koostumukseltaan nestekiteet ovat yleensä suurehkoja sauvamaisia orgaanisia molekyylejä. Matalissa lämpötiloissa nestekiteitä muodostavat molekyylit ovat yleensä kiinteitä, mutta korkeammissa lämpötiloissa ne alkavat järjestäytyä uudelleen ja muuttuvat jäykkäliikkeisiksi nesteiksi. Lämpötilan edelleen noustessa nestekiteet sulavat nesteiksi. Nestekidemuoto esiintyy siis vain tällä lämpötilavälillä, ja silloin aineella on nesteenkaltaiset liikkuvuusominaisuudet ja kiteisen aineen kaltaiset optiset ominaisuudet.

Nestekiteiden ominaisuudet muuttuvat sen mukaan, miten niiden molekyylit ovat järjestäytyneet. Järjestäytymisen mukaan kiteet joko päästävät valoa läpi tai ovat sitä läpäisemättömiä. Muutos voidaan saada aikaan lämmittämällä tai sähkökentän avulla. Tätä ominaisuutta hyödynnetään näyttöruuduilla kuvanmuodostuksessa.

Gekon jalat

Gekkolisko voi kävellä aivan yhtä vaivattomasti katossa, seinillä ja lattialla ja roikkua jopa yhden jalan varassa. Liskon jalkoja kiinnipitävä voima on suurempi kuin monilla liimoilla. Ilmiötä on yritetty selittää milloin imukupeilla, kemiallisella liimalla tai jopa tarrateipin kaltaisella voimalla. Totuus kuitenkin on, että gekkoliskon jaloissa on pienellä alalla miljoonittain hiuksenhienoja karvoja. Tutkijat ovat antaneet tälle rakenteelle latinankielisen nimen *seta*, joka tarkoittaa suomeksi harjasta.

Kun gekko painaa jalkansa kattoon, pääsevät harjakset hyvin lähelle pintaa ja muodostuu heikkoja sidoksia, dispersiovoimia. Nämä voimat ovat riittäviä pitämään gekon katossa, mutta riittävän heikkoja, että gekko pystyy myös nostamaan jalkaansa ja pötkimään tarvittaessa pakoon.



Gekon jalka lasin päällä kuvattuna alapuolelta

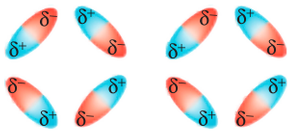
Setan rakennetta on pystytty jäljittelemään synteettisesti ja valmistamaan teippimateriaalia, jonka pinnassa on mikroskooppisen pieniä, joustavia polymeeriharjaksia.
Kun gekon jalassa on noin 14 000 setaharjasta neliömillimetrillä, on synteettisessä teipissä, joka pitää lelun katossa, jopa 29 000 harjasta. Tällainen teippi pystyy tarttumaan mihin tahansa pintaan, on se kuiva tai märkä. Se voidaan irrottaa ja kiinnittää uudelleen lukemattomia kertoja.

HARJOITUSTEHTÄVÄT

P Perustehtävät

a.

b.

c. 

103. Järjestä seuraavat sidokset heikoimmasta vahvimpaan: dipoli-dipolisidos, kovalenttinen sidos, dispersiovoima, vetysidos

104. Molekyylien välisiä sidoksia ovat dispersiovoima, dipoli-dipolisidos ja vetysidos. Mikä on seuraavien aineiden molekyylien välinen sidos?
a. vesi H_2O **b.** jodi I_2 **c.** vetykloridi HCl **d.** helium He

105. Valitse seuraavista ne aineet, joiden molekyylit voivat sitoutua toisiinsa vetysidoksilla. Piirrä yhdestä aineesta malli, jossa näkyvät kaikki sidokset.
NO_2 CO_2 F_2 CH_3OH H_2O

106. Selitä, mikä ero on hetkellisillä dipoleilla ja pysyvillä dipoleilla. Anna esimerkki kummastakin. Miten tämä ero vaikuttaa molekyylien välisten sidosten vahvuuteen?

107. Yhdistä lauseeseen oikea kuva vasemmalta.
a. Poolittomat aineet sitoutuvat toisiinsa dispersiovoimin.
b. Poolisten molekyylien välille syntyy dipoli-dipolisidoksia.
c. Vetysidos on vahvin dipoli-dipolisidoksista.

Sy Syventävät

108. Dispersiovoimia kutsutaan toisinaan London-voimiksi fyysikko Fritz Londonin mukaan. London-voimat ovat osa molekyylien välisten voimien joukkoa, van der Waalsin voimia. Hollantilainen fyysikko Johannes Diderik van der Waals määritteli, että kookkaammilla molekyyleillä, joilla on suuremmat elektronipilvet ja molekyyleillä, joilla on suuri pinta-ala on vahvimmat molekyylien väliset voimat.
Järjestä seuraavat aineet kasvavan kiehumispisteen mukaiseen järjestykseen ja perustele järjestys van der Waalsin voimilla tai dipoli-dipolisidoksen vahvuudella.
a. Br_2, I_2, Cl_2, F_2 **b.** CCl_4, H_2, O_2 **c.** He, H_2O, HCl

109. Alla olevassa taulukossa on eräiden alkuaineiden elektronegatiivisuuksia. Vastaa perustellen ja käyttäen taulukon tietoja seuraaviin kysymyksiin:
a. Miksi H_2O molekyylien välillä on vetysidoksia, mutta HCl-molekyylien välillä ei ole?
b. Etsi taulukosta jokin toinen alkuaine, joka muodostaa vedyn kanssa yhdisteitä, jotka pystyvät muodostamaan vetysidoksia.
c. Etsi taulukosta jokin toinen alkuaine, joka muodostaa vedyn kanssa yhdisteitä, jotka eivät muodosta vetysidoksia.

alkuaine	H	C	Cl	O	F
elektro-negatiivisuus	2,1	2,5	3,0	3,5	4,0

110. Piirrä mallikuva, jossa esiintyvät kaikki, sekä molekyylin sisäiset että molekyylien väliset, sidokset seuraavilla aineilla huoneenlämmössä.
a. O_2 **b.** NH_3 **c.** HCl

15 Heikkojen sidosten ominaisuudet

! Luvun sisällys

- **Sidokset muuttuvat olomuodon vaihtuessa**
- **Heikkojen sidosten ominaisuudet nesteissä**
- **Vuorovaikutukset liuoksissa**

Älä anna ulkonäön hämätä: suolakiteet (vasemmalla) ja sokerikiteet (oikealla) näyttävät samanlaisilta, mutta niillä on hyvin erilainen rakenne.

Metallien muokkaaminen sulattamalla onnistuu metallisidoksen ominaisuuksien vuoksi.

Kuparisulfaatti on suola, joka liukenee hyvin veteen.

→ Osaat jo…

- erottaa toisistaan vahvat ja heikot sidokset alkuaineiden, ionien ja molekyylien välillä.
- Tiedät myös, miten aineen osaset ovat järjestäytyneet kiinteässä ja nestemäisessä olomuodossa.

↓ Opiskelet nyt…

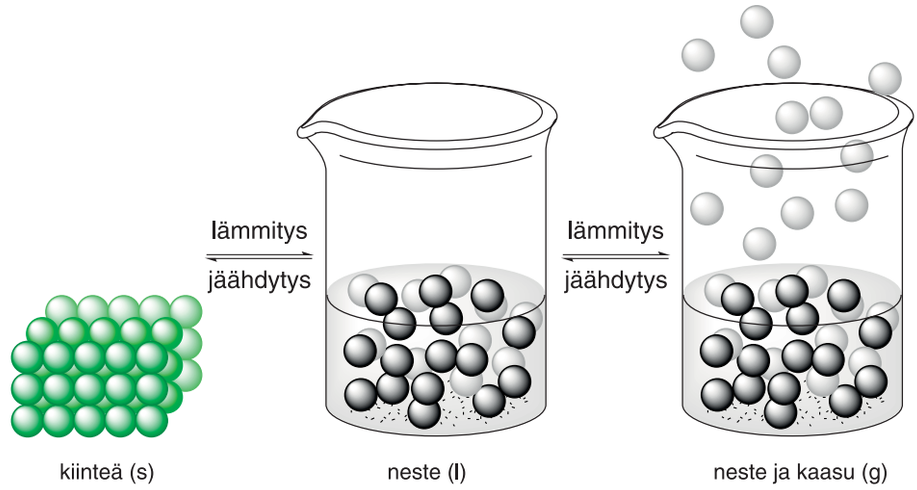
- miten olomuodon muutokset vaikuttavat kemiallisiin sidoksiin.
- Opit myös, mitä tapahtuu aineiden välisessä liukenemisessa.

Opiskelet myöhemmin… →

- Kirjan viimeinen varsinainen teorialuku 16 keskittyy veden erityisominaisuuksiin.

Sidokset muuttuvat olomuodon vaihtuessa

Luvussa 2 käsittelimme olomuodon muutoksia ja niihin liittyviä energian muutoksia. Luvussa 14 opimme, että molekyylit sitoutuvat toisiinsa heikoilla vuorovaikutuksilla. Mitä tapahtuu aineiden välisille sidoksille, kun olomuoto muuttuu?



Jos kiinteän aineen annetaan lämmetä riittävästi, se alkaa sulaa. Jos lämmittämistä jatketaan edelleen, saman aineen neste alkaa kiehua.

Jodimolekyylit sublimoituvat jo alhaisissa lämpötiloissa, koska molekyylien välinen sidos on heikko.

Kaikilla puhtailla aineilla on tarkka sulamispiste, lämpötila, jossa kiinteä aine muuttuu nesteeksi. Puhtaiden aineiden kiehumispiste on sulamispisteen tavoin tietty tarkka lämpötila. Nestemäisessä olomuodossa aine ottaa astian muodon ja nesteen pinta asettuu aina vaakatasoon. Aineen osaset liukuvat toistensa ohi, ja niillä on vuorovaikutusta toistensa kanssa. Kaasumaisessa olomuodossa aineen osasilla on niin paljon liike-energiaa, että ne ottavat kaiken käytettävissä olevan tilan eikä osasilla ole käytännössä vuorovaikutusta toistensa kanssa.

Sulamisessa kidehila rikkoutuu

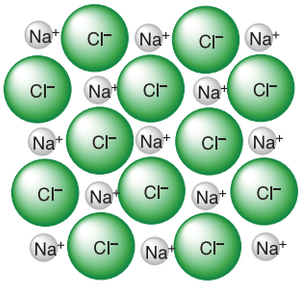
Sulamisessa kiinteä aine saa niin paljon energiaa, että kidehilan muodostavat sidokset katkeavat. Vaikka kiinteässä olomuodossa aineen osaset pysyvät paikoillaan tarkkaan järjestäytyneessä muodossa, ne pystyvät värähtelemään paikoillaan. Kun ainetta lämmitetään, tämä värähtely kasvaa ja sulamispisteessä aineosasten liike-energia muuttuu suuremmaksi kuin kidettä koossa pitävä voima ja aine sulaa. Kiteisen aineen sulamispiste on tietty tarkka lämpötila, koska puhtaan aineen rakenne on samanlainen läpi koko kappaleen. Amorfinen aine sulaa laajalla lämpötilavälillä, koska siinä aineen osaset eivät noudata järjestäytynyttä muotoa.

Sidos	Sidosenergia (kJ/mol)
Atomien välinen	
metallisidos	100–900
ionisidos	500
kovalenttinen sidos	150
Molekyylien välinen	
vetysidos	8–40
dipoli-dipolisidos	4–25
dispersiovoima	0,5–5

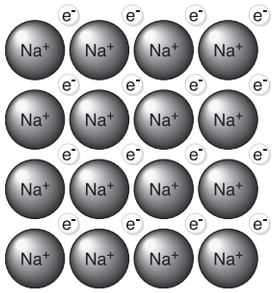
Mitä voimakkaampi sidos alkuaineatomien tai ionien tai molekyylien välillä on, sitä enemmän energiaa tarvitaan rikkomaan aineen osasten väliset sidokset ja sitä korkeampi on aineen sulamispiste. Voimme siis päätellä aineiden sulamispisteiden perusteella, millaisia kiinteän aineen hilarakenteita aineessa on. Alkuaineista korkein sulamispiste on hiilellä, yli 3 500 °C, koska sillä on säännöllisin tetraedraalinen muoto.

Metallien sulamispisteeseen vaikuttaa siinä olevien ulkoelektronien määrä ja atomin koko sekä hilarakenne, koska nämä vaikuttavat metallissidoksen vahvuuteen.

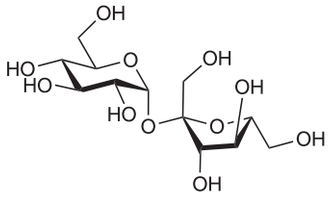
E Esimerkki



Natriumkloridikiteen säännöllinen ionihila



Alkalimetalli natriumin metallihila



Sakkaroosi on glukoosin ja fruktoosin muodostama disakkaridi.

Natriumin Na sulamispiste on 97,8 °C, mutta natriumkloridin, NaCl 801 °C ja raudan, Fe 1 535 °C. Miten selität näiden sulamispisteiden suuret erot?

Ratkaisu:

Natrium ja rauta ovat molemmat metalleja, joilla on vahva metallihila. Siksi niiden sulamispisteet ovat suhteellisen korkeita. Natrium on ensimmäisen ryhmän alkalimetalli, ja sen uloimman kuoren elektroni pääsee liikkumaan huomattavasti helpommin metallihilassa kuin siirtymämetalli raudan. Siksi natriumin sulamispiste on huomattavasti raudan sulamispistettä alhaisempi.

Natriumkloridi muodostuu ioneista Na^+ ja Cl^-, joita pitää koossa voimakas sähköinen vetovoima, ionisidos. Kiinteässä NaCl-kiteessä ionit ovat järjestäytyneet ja tarvitaan paljon energiaa, jotta tämä järjestäytynyt rakenne saadaan purettua. Siksi NaCl:n sulamispiste on niin paljon metallista natriumia korkeampi.

Poolisilla ja suurikokoisilla molekyyleillä on korkeat sulamispisteet. Esimerkiksi tavallinen kidesokeri, sakkaroosi, muodostaa paljon vetysidoksia, ja siksi sen sulamispiste on 186 °C. Tämä on jo niin korkea lämpötila, että sokeri alkaa hajota pian sulamisen jälkeen. Havaitsemme tämän ruskistumisena eli karamellisoitumisena.

Koska pooliton jodi I_2 on kohtalaisen kookas molekyyli, se esiintyy huoneen lämpötilassa kiinteänä (sulamispiste on 113,7 °C). Jodimolekyylien väliset dispersiovoimat eli London-voimat ovat kuitenkin niin heikot, että jodi sublimoituu herkästi jo huoneenlämpötilassa jopa paljon ennen sulamista.

Suurin osa teräsvalimoiden raaka-aineesta on kierrätysmetallia.

Heikkojen sidosten ominaisuudet nesteissä

Nestemäisessä olomuodossa aineen osasten välillä on jonkin verran vuorovaikutuksia, koska neste ottaa kyllä astian tilan, mutta se ei karkaa astiasta. Metallisidoksissa ei tapahdu suuria muutoksia metallin sulaessa ja siksi metallien työstö toistuvasti sulattamalla ja valamalla on mahdollista. Ioniyhdisteillä sulaminen saa aikaan sen, että varautuneet hiukkaset pääsevät liikkumaan vapaammin kuin kiinteässä olomuodossa. Tämä mahdollistaa sähkönjohtavuuden. Niinpä suolat, jotka kiinteänä ovat eristeitä, muuttuvat sulaessaan sähkönjohteiksi.

!

Magnesiummetallia valmistetaan merivedessä olevasta $MgCl_2$:sta. Prosessin viimeisessä vaiheessa sulaa magnesiumkloridia elektrolysoidaan ja saadaan puhdasta Mg-metallia.

Molekyylin poolisuus vaikuttaa kiehumispisteeseen

Molekyylejä pitää kiinni toisissaan kiinteässäkin olomuodossa dispersiovoima tai dipoli-dipolisidos. Molekyyliyhdisteiden poolisuus vaikuttaa niiden sidosten vahvuuteen. Poolittomilla aineilla molekyylien välisten heikkojen dispersiovoimien kumoamiseen tarvitaan vain vähän energiaa. Siksi niiden kiehumispisteet ovat hyvin alhaisia. Esimerkiksi lähes täysin poolittoman metaanin eli maakaasun kiehumispiste on −161 °C.

? Pohdi

Retkikeittimet toimivat nestekaasulla.

Nestekaasu on propaanin C_3H_8 ja butaanin C_4H_{10} seos. Sitä myydään kaasupulloissa nestemäisenä. Miten tämä on mahdollista, kun propaanin kiehumispiste on −42 °C ja butaanin −0,5 °C?

Pooliset nesteet

Molekyylihilaiset aineet eivät johda sähköä edes nestemäisessä olomuodossa. Sähkönjohtavuuteen tarvitaan vapaita elektroneja, joita molekyyleillä ei ole, eivätkä tähän riitä dipoleissa olevat osittaisvaraukset. Sen sijaan osittaisvaraustensa avulla dipolimolekyylit muodostavat molekyylien välisiä dipoli-dipolisidoksia. Tästä syystä dipolimolekyylien sulamispisteet ja myös kiehumispisteet ovat huomattavasti korkeampia kuin poolittomien molekyylien. Opimme edellisessä luvussa, että sokerimolekyyli voi muodostaa useita vetysidoksia, jolloin sen sulamispiste on korkea. Vetysidosten määrä vaikuttaa myös aineen kiehumispisteen korkeuteen.

E Esimerkki

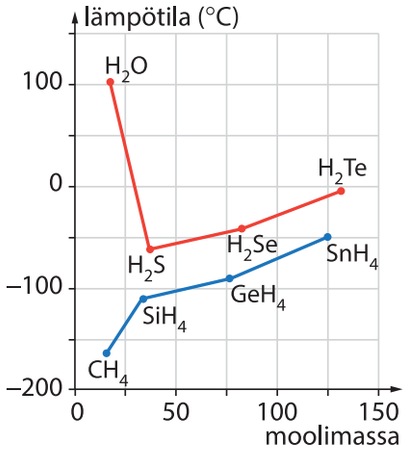
Kuinka monta vetysidosta seuraavat molekyylit pystyvät muodostamaan?
metaani CH_4 vesi H_2O ammoniakki NH_3 vetyfluoridi HF
Miten molekyylin muodostamien vetysidosten määrä vaikuttaa aineiden kiehumispisteisiin?

Ratkaisu:

Metaani, CH_4 ei muodostaa yhtään vetysidosta, koska se on pooliton molekyyli. Vesi H_2O muodostaa neljä vetysidosta, koska sillä on kaksi donori-akseptori -paria, eli kaksi vapaata elektroneja luovuttavaa elektroniparia (donoria) ja kaksi elektroneja vastaanottavaa vetyatomia (akseptoria). Periaatteessa myös ammoniakki pystyy muodostamaan neljä vetysidosta. Sen muodostama vetysidosverkosto on harva, koska sillä on vain yksi vapaa elektronipari ja keskimäärin kukin ammoniakkimolekyyli käyttää vain yhden vedyn vetysidoksiin. Vetyfluoridilla taas ei ole riittävästi protoneita, mistä syystä HF muodostaa vain kaksi vetysidosta.

Alhaisin kiehumispiste on metaanilla –161 °C. Toiseksi alhaisin kiehumispiste, –33 °C, on ammoniakilla. Vetyfluoridi kiehuu –19,7 °C:ssa, ja veden kiehumispiste on 100 °C. Ammoniakin vetyfluoridia matalampi kiehumispiste selittyy sillä, että kaksi sen vedyistä ei muodosta vetysidosta. Tästä seuraa, että ammoniakkimolekyylit ovat nesteessä kauempana toisistaan kuin vetyfluoridimolekyylit.

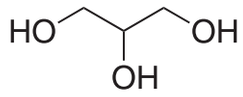
!



Kiehumispiste riippuu molekyylin koosta.

Molekyylin kiehumispisteeseen vaikuttaa myös molekyylin koko ja molekyylissä olevan dipolin poolisuus. Oheisessa kuvassa on esitettynä ryhmien 14 ja 16 vety-yhdisteiden kiehumispisteet molekyylin koon funktiona. Tässä näemme, kuinka ryhmän 16 vety-yhdisteet kiehuvat korkeammassa lämpötilassa kuin ryhmän 14, koska ne ovat kooltaan suurempia. Huomionarvoisinta on kuitenkin se, että poolinen vesimolekyyli kiehuu huomattavasti korkeammassa lämpötilassa kuin sen koon perusteella voisi päätellä. Veden erityisominaisuuksista opiskelet tarkemmin luvussa 16. Kun olet tutustunut niihin, palaa takaisin viereiseen kaavioon ja koeta selittää, miksi vesi ei käyttäydy muiden vety-yhdisteiden tavoin.

!



Glyserolimolekyyli voi muodostaa vetysidoksia kaikilla kolmella happiatomillaan toisten glyserolimolekyylien kanssa. Nestemäisessä glyserolissa on tiheä vetysidosten verkko. Tämän vuoksi glyserolilla on poikkeuksellisen suuri viskositeetti.

Vetysidoksesta seuraa viskositeetti ja pintajännitys

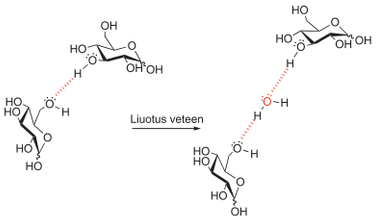
Molekyylien väliset sidokset vaikuttavat muihinkin aineen ominaisuuksiin kuin sulamis- ja kiehumispisteisiin. Heikkojen sidosten takia nesteet ovat juoksevia tai valuvia. Aineen osaset voivat liukua toistensa ohi ja ottaa astian muodon, mutta samalla, kun heikkoja sidoksia katkeaa, uusia muodostuu välittömästi tilalle. Näin nestemolekyylit pysyvät kiinni toisissaan. Nesteiden jäykkyyttä kutsutaan **viskositeetiksi**. Jäykkyys määräytyy hiukkasten koon, muodon ja sen muodostamien sidosten mukaan.

? Pohdi

Auton moottoria pitää voidella. Miksi on tärkeää, että voiteluaine säilyttää viskositeettinsa suurissakin lämpötilavaihteluissa?

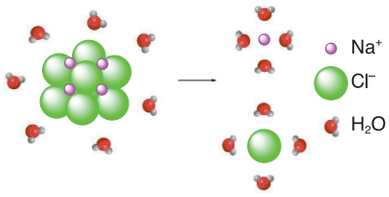
!

Sokerin liukeneminen



Kuvassa on vain yksi vetysidos glukoosimolekyylien välillä. Kuva esittää, mitä sille tapahtuu, kun sokeria liuotetaan veteen.

Suolan liukeneminen



$NaCl(s) \longrightarrow Na^+(aq) + Cl^-(aq)$

Vesi muodostaa ioni-dipolisidoksen sekä ionien Na^+ että Cl^- kanssa. Veden happi, jolla on negatiivinen osittaisvaraus, asettuu kohti Na^+ -ioneja ja elektropositiivinen vety kohti Cl^- -ioneja. Lisäksi joidenkin vesimolekyylien välillä säilyy vetysidoksia.

Vesi muodostaa lehden pinnalle kauniita kastepisaroita, mutta öljyläikkä leviää ohuena kerroksena laajalle alueelle veden pinnalla. Kyse on pintajännityksestä, joka on myös seurausta molekyylin kyvystä muodostaa vetysidoksia. Öljyllä, joka koostuu pitkistä poolittomista hiilivetyketjuista, on hyvin alhainen pintajännitys. Voimakkaasti poolisen veden pintajännitys on vastaavasti hyvin suuri. Pintajännityksen kemiallinen ja fysikaalinen selitys löytyvät luvusta 16.

Vuorovaikutukset liuoksissa

Yleisenä sääntönä voidaan sanoa, että samanlainen liuottaa samanlaista. Tämä tarkoittaa sitä, että pooliset aineet liukenevat poolisiin aineisiin ja poolittomat poolittomiin. Näin ollen metallit liukenevat toisiin metalleihin hyvin vain sulina nesteinä. Öljyt ja rasvat ovat varsin poolittomia aineita ja siksi ne eivät liukene vahvasti pooliseen veteen. Sokerimolekyylissä on useita poolisia hydroksyyliryhmiä, ja tämän vuoksi se liukenee erinomaisesti pooliseen veteen. Liukenemisessa sokerimolekyylien väliset vetysidokset korvautuvat sokerin ja veden välisillä vetysidoksilla. Myös ioniyhdisteet lukenevat poolisiin liuottimiin. Kun suola liukenee veteen, muodostuu **ioni-dipolisidoksia**. Tämän seurauksena suolan vesiliuokset johtavat sähköä. Huomaa, että sokerin ja suolan liukeneminen ovat erilaisia tapahtumia. Viereisissä kuvissa on esitetty nämä liukenemistapahtumat. Miten selittäisit ne sidosten muutoksilla?

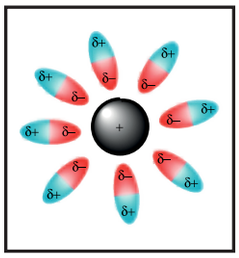
HARJOITUSTEHTÄVÄT

P Perustehtävät

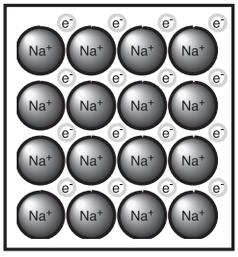
111. Mitkä sidokset murtuvat seuraavien aineiden sulaessa?
a. KCl(s) **b.** I_2(s) **c.** H_2O(s) **d.** Cu(s)

112. Yhdistä perustellen seuraavat väittämät ja alla olevat kuvat.
a. Metalleilla on korkea sulamispiste, koska metallihila on hyvin järjestäytynyt.
b. Vesi muodostaa suolojen kanssa ioni-dipolisidoksen liuoksessa.
c. Pooliton öljy ei liukene pooliseen veteen.

a.



b.



c.

113. Yhdisteiden A, B ja C sulamispisteet ovat 710 °C, –10 °C ja 20 °C. Millä näistä yhdisteistä on todennäköisimmin ionihila? Miksi?

Aine	moolimassa g/mol	sulamispiste °C
NaCl	58,5	801
Ni	58,7	1453
Moolimassa kuvaa aineen massaa suhteessa toisiin aineisiin.		

114. Oheisessa taulukossa on tietoja kahdesta aineesta, joiden moolimassa on melkein sama.
a. Miksi aineiden sulamispisteet poikkeavat toisistaan huomattavasti?
b. Millainen on aineiden sähkönjohtokyky ja miksi?
c. Liukenevatko aineet veteen ja miksi?

115. **a.** Mitä sidoksia purkautuu ja mitä muodostuu, kun suola liukenee veteen?
b. Mistä voi tietää, onko neste suolaliuosta vai puhdasta vettä?

Sy Syventävät

116. Mikä sidos määrää seuraavien aineiden olomuodon?
a. H_2O (l) **b.** $CH_3–CH_2–CH_3$ (g) (propaani) **c.** $CaCl_2$(s) **d.** Ne (g)

117. Tarkastele halogeenien sulamis- ja kiehumispisteitä.
a. Mitkä ovat aineiden olomuodot huoneenlämpötilassa (20 °C)?
b. Mitä sidoksia eri halogeeneissa esiintyy tässä olomuodossa?
c. Mistä johtuvat halogeenien alhaiset sulamis- ja kiehumispisteet?
d. Taulukosta puuttuu astatiini At, joka on jodin alapuolella halogeenien ryhmässä. Ennusta perustellen sen olomuoto 20 °C:ssa.

Halogeeni	sp / °C	kp / °C	moolimassa g/mol
Kloori Cl_2	–101	–35	70,9
Bromi Br_2	–7	59	159,8
Jodi I_2	114	184	253,8

118. Järjestä seuraavat aineet kasvavan kiehumispisteen mukaisesti:
$BaCl_2$ H_2 CO_2 HF Ne Pd.

119. **a.** Puhtaan veden sulamispiste on 0 °C. Jos jään ja veden seokseen lisätään suolaa, laskee seoksen lämpötila –10 °C. Selitä, miksi näin tapahtuu.
b. Selitä, miksi sulaa lasia voidaan muokata esimerkiksi puhaltamalla, mutta sula rauta pitää valaa muoteissa oikeaan muotoonsa.

KOKEELLISUUS

T Työ 14 — Kemialliset sidokset määräävät aineen ominaisuudet

Tämän työn tarkoituksena on verrata neljän erilaisen aineen ominaisuuksia ja päätellä tutkimusten perusteella kunkin aineen hilarakenne.
Voit tutkia jokaista näytettä ensin mikroskoopilla.

Aineet ja tarvikkeet
- kiinteät näytteet (4 kpl)
- vettä ja bensiiniä
- koeputkia
- spaateleita tai lusikoita
- lasisauvoja
- Pasteur-pipettejä
- kellolaseja tai petrimaljoja
- upokkaita
- metallilevyjä
- kuumennusvälineet
- johtokykymittari tai jännitelähde ja virtamittari
- vasara
- (mikroskooppi)

Lämmönkestävyys
Laita jokaista näytettä yhtä paljon upokkaisiin. Kuumenna jokaista näytettä samalla tavalla.

1. Liukoisuus veteen ja bensiiniin
Ota kahdeksan koeputkea ja laita jokaista neljää näytettä lusikankärjellinen kutakin kahteen koeputkeen. Lisää ensimmäisiin neljään putkeen n. 3 ml kädenlämpöistä vettä. Sekoita lasisauvalla.
Toista koe lisäämällä jäljellä oleviin neljään koeputkeen bensiiniä. Sekoita lasisauvalla ja lämmitä koeputkia varovasti vesihauteessa keittolevyllä.
(HUOM! Varmista, että luokassa ei ole avotulta!)

2. Sähkönjohtokyky
Mittaa ensin kiinteiden näytteiden sähkönjohtavuus joko johtokykymittarilla tai virtapiirillä. Toista mittaus näytteistä tehdyillä vesiliuoksilla.

3. Mekaaninen kestävyys
Laita jokaista näytettä metallilevylle ja vasaroi sitä.
- Tee mittaustuloksistasi taulukko, jossa on sarakkeet sulamispisteelle, liukoisuudelle (vesi/bensiini), johtokyvylle ja mekaaniselle kestävyydelle. Jos tarkastelit näytteitä mikroskoopilla, kirjaa myös nämä havainnot ulkonäöstä.
- Päättele kunkin aineen hilarakenne ja siinä olevat sidokset.
- Luokittele aineet hilarakenteen mukaan yhdisteryhmiin.

T Työ 15 — Samanlainen liuottaa samanlaista

Tämän työn tarkoituksena on selvittää, mitä kemiallisia sidoksia erilaisissa aineissa on liuottamalla niitä sekä pooliseen veteen että poolittomaan bensiiniin.

Aineet ja tarvikkeet
- vettä
- bensiiniä
- kalsiumkloridia $CaCl_2$
- jodia I_2
- rautajauhetta Fe
- koeputki ja siihen sopiva tulppa
- muovilusikoita
- Pasteur-pipetti

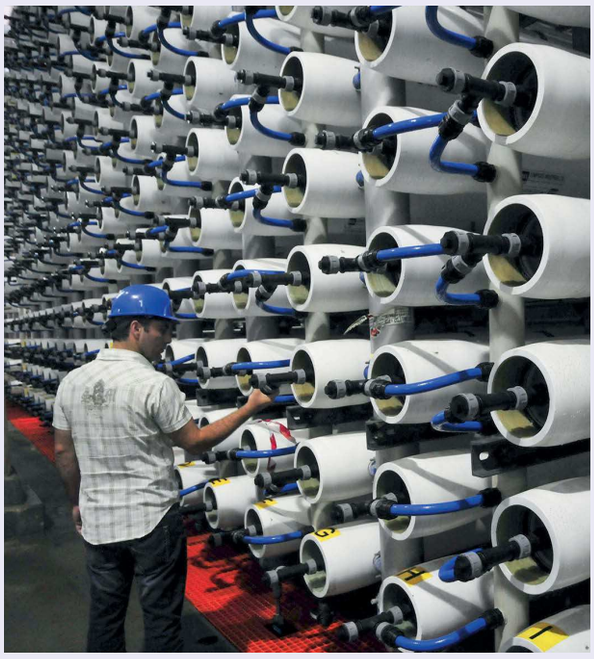
Lisää koeputkeen tässä järjestyksessä seuraavat aineet:
- 2 ml vettä H_2O
- 2 ml bensiiniä (hiilivetyjen seos, jota edustaa yhdiste C_8H_{18}),
- lusikankärjellinen kalsiumkloridia $CaCl_2$
- lusikankärjellinen jodia I_2
- lusikankärjellinen rautajauhetta Fe.

Laita koeputken suulle tulppa ja ravista koeputkea voimakkaasti.
1. Havainnoi, mitä aineiden lisäyksessä tapahtuu.
2. Havainnoi, mitä ravistelun jälkeen tapahtuu.
3. Vastaa käyttäen perusteluna kemiallisia sidoksia, missä osassa seosta kukin aineista on.
4. Mikä aine jää liukenematta?

16 Veden erityisominaisuudet

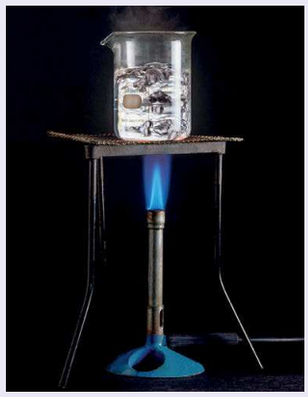
! Luvun sisällys

- **Vesi on erikoinen neste**
- **Vesi liuottimena**
- **Osmoosi**



Makeasta vedestä on pulaa monissa maissa. Suolanpoisto merivedestä käänteisosmoosilla on yksi käytetty menetelmä makean veden valmistuksessa.

Suonensisäisen liuoksen on oltava koostumukseltaan tarkasti oikeanlaista.

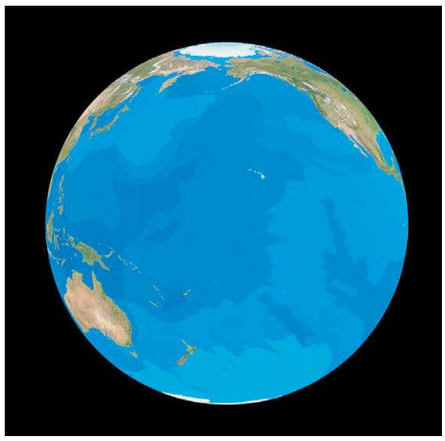


Miksi vesi kiehuu vasta 100 °C:ssa, kun lähes yhtä painava metaani kiehuu jo –161 °C:ssa?

Vesi on elämälle välttämätöntä

Maapallon vesi on valtamerissä, joissa ja järvissä sekä sitoutuneena jäätiköihin ja pohjavesialtaisiin.
Vettä on myös kaikissa kasveissa ja eläimissä.

Maapallolla vesi on jatkuvassa kierrossa.



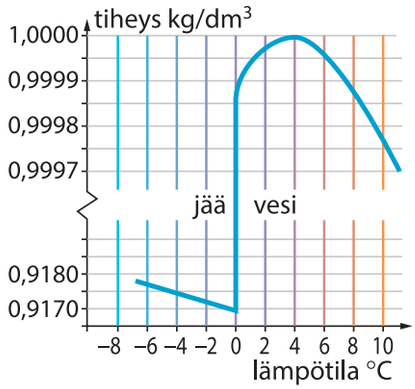
Tyyni valtameri peittää kolmanneksen maapallon pinta-alasta ja siinä on yli puolet maapallon vapaasta vedestä.

Vesi on erikoinen neste

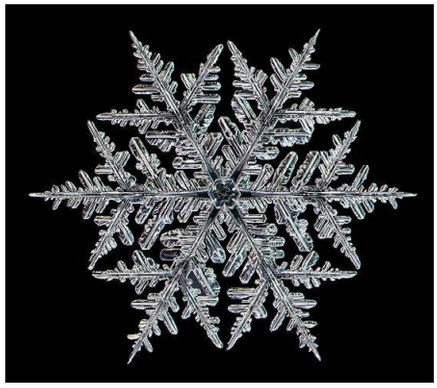
Vesi peittää maapallon pinnasta noin 70 %, ja ilmakehässä sitä on noin prosentin verran vesihöyrynä. Maapallon vedestä 96,5 % on merissä ja vesistöissä. Lisäksi 1,7 % vedestä on pohjavedessä ja yhteensä 1,7 % jäätiköissä ja napajäätiköissä. Vain 2,5 % maapallon vedestä on juomakelpoista makeaa vettä, ja siitäkin 98,8 % on joko jäässä tai pohjavedessä.

Vettä on kaikkialla, missä on elämää: kasvien ja eläinten massasta 50–90 % on vettä. Ihmisen painostakin noin 60 % on vettä. Vesi on poolinen aine ja siksi se liuottaa hyvin ravinnosta saatavia ioniyhdisteitä ja poolisia molekyyliyhdisteitä. Solujen aineenvaihduntareaktioissa vedellä on keskeinen tehtävä, ja aineenvaihduntatuotteet poistuvat veteen liuenneina virtsassa ja hiessä.

Tiheys



Veden ja jään tiheys riippuvat lämpötilasta. Jää on kevyempää kuin vesi.



Lumihiutaleet ovat symmetrisiä jääkiteitä. Jokainen lumikide on yksilöllinen, ja suurimmillaan niiden halkaisija on 2–4 mm.

Jäävuori. Jäävuoret ovat jääpaloja, jotka ovat irronneet jäätiköstä tai napajäästä. Ne saattavat ulottua jopa 100 metrin korkeuteen. Vain noin 10 % jäävuoresta on näkyvissä, suurin osa on pinnan alla.

Yleensä aineen tiheys on kiinteässä tilassa suurempi kuin nesteenä. Vedellä tilanne on päinvastainen. Kiinteän jään tiheys on pienempi kuin nestemäisen veden, ja siksi se kelluu veden pinnalla. Jää toimii eristeenä ja estää lämmön siirtymisen vedestä ilmaan. Näin veden jäähtyminen hidastuu, ja elämä vedessä on mahdollista talvellakin.

Jäässä vesimolekyylit ovat sitoutuneet toisiinsa vetysidoksin. Jokaista happiatomia ympäröi neljä vetyatomia, joista kaksi on sitoutunut kovalenttisesti ja kaksi vetysidoksin. Sidokset suuntautuvat säännöllisesti, ja tämä avaruudellinen järjestys määrää lumikiteiden muodon.

? Pohdi

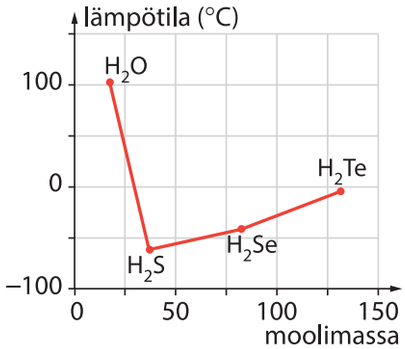
Miksi vesi kiehuu vasta 100 °C:ssa, kun lähes yhtä painava metaani kiehuu jo –161 °C:ssa?

Sulaminen ja kiehuminen

Jään sulaessa osa vetysidoksista katkeaa hetkellisesti ja yksittäisten molekyylien liike helpottuu. Kun sulanut vesi lämpenee 0 °C:sta noin 4 °C:een, purkautuminen jatkuu ja vesimolekyylit pääsevät lähemmäs toisiaan. Veden tiheys onkin korkeimmillaan +4,4 °C:n lämpötilassa. Kun lämpötila nousee, vesimolekyylit pääsevät liikkumaan helpommin lämpöliikkeen vaikutuksesta, ja veden tiheys laskee. Tiheys on jälleen alhaisimmillaan kiehumispisteessä, jolloin veden tiheys on kuitenkin vielä 0,95865 kg/dm^3 eli merkittävästi suurempi kuin jään.

Molekyyliyhdisteiden kiehumispiste on tavallisesti sitä korkeampi, mitä raskaampia molekyylit ovat. Ryhmän 16 vety-yhdisteistä veden kiehumispisteen pitäisi siis olla alhaisin! Veden vetysidokset kuitenkin vahvistavat vesimolekyylien välisiä vuorovaikutuksia, ja siksi kiehumispiste on poikkeuksellisen korkea.

!



Veden kiehumispiste on poikkeuksellisen korkea verrattuna muihin ryhmän 16 alkuaineiden vety-yhdisteiden kiehumispisteisiin.

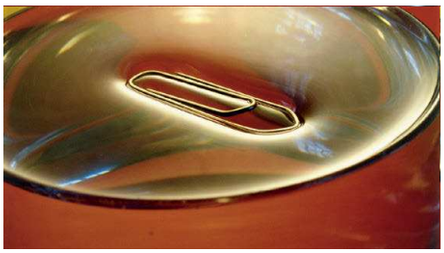
Pintajännitys

Edellä opimme, että jää kelluu veden pinnalla, koska se on kevyempää kuin vesi. Miksi sitten vettä raskaampi vesimittari pystyy kiitämään järven pinnalla ilman, että se uppoaa veteen? Tai miksi metallinen paperiliitin kelluu vesilasissa, vaikka metallin tiheys on suurempi kuin veden?

Vesimolekyylien välillä nesteessä jokaisen happiatomin ympärillä on neljä vetyatomia, ja jokainen vetyatomi on sitoutunut kahteen happiatomiin.

Veden pinnalla tämä kolmiulotteinen verkkorakenne särkyy. Jokainen vetysidos tekee rakenteesta pysyvämmän, mutta veden pinnalla kaikki molekyylit eivät voi muodostaa maksimimäärää vetysidoksia. Neste pyrkii tilaan, jossa sen kokonaispinta-ala on mahdollisimman pieni. Tämän vuoksi harvakseen tippuva vesi, kuten tihkusade, putoaa pisaroina, jotka ovat tyypillisesti 50 µl:n kokoisia. Yhteen teelusikalliseen mahtuu 100 tällaista pisaraa.

Vesimittari



Paperiliitin kelluu vedessä.

? Pohdi

Miksi kuuma vesi on pesussa parempi vaihtoehto kuin kylmä vesi?

Koheesio ja adheesio

Kun nestepisara levittyy ohueksi kerrokseksi pinnalle, sanomme, että neste kastelee pinnan. Säilyykö vesipisara pisarana pinnalla vai leviääkö se tasaisesti ohuena kalvona pinnalle, riippuu kahden voimavaikutuksen suhteesta. Voimat, jotka pyrkivät pitämään pisaran koossa, ovat koheesiovoimia. Voimat nestemolekyylien ja pinnan välillä ovat adheesiovoimia. Jos koheesiovoimat ovat suuremmat kuin adheesiovoimat, pisara säilyttää muotonsa. Jos taas adheesiovoimat ovat voimakkaammat, pinta vettyy.

Vesi kastelee monia pintoja, kuten lasia ja kankaita. Tämä ominaisuus on tärkeä pesussa. Jos peitämme lasin pinnan ohuella öljy- tai rasvakerroksella, vesi ei enää kostuta pintaa, vaan vesipisarat kierivät pinnalta pois. Lasisia astioita pestessä on hyvä, jos astian pinnalle jää tasainen vesikerros. Kun taas vahaamme auton, on tulos hyvä, kun auton vahatulle maalipinnalle jää irrallisia vesipisaroita.

Pesuaineen lisäämisellä veteen on kaksi vaikutusta. Toisaalta pesuaine liuottaa rasvaa, ja toisaalta se alentaa veden pintajännitystä. Pintajännityksen alentaminen tarkoittaa, että vesipisarat muodostavat helpommin nestekalvon. Tällaisille aineille on käyttöä sekä pesuaineina kotitalouksissa että teollisuudessa.

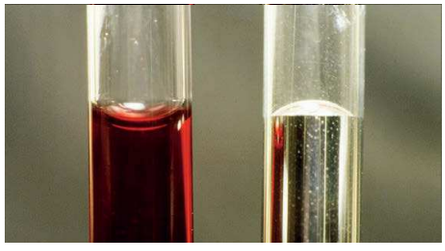
!

Lootuskasvin lehden pinta on niin **hydrofobinen** eli vettä hylkivä, että vesipisarat ovat lähes palloja lehden pinnalla.

Tätä ilmiötä kutsutaan lootusefektiksi. Ilmiötä hyödynnetään erilaisissa pinnoitteissa, joista halutaan joko vettä hylkiviä tai itsestään puhdistuvia.

? Pohdi

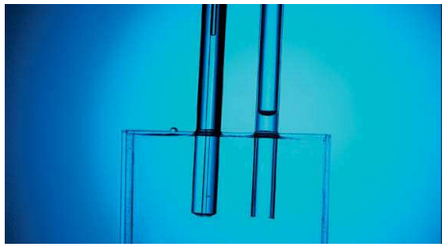
Miksi lootusilmiö on toivottu ominaisuus hyvälle suksien luistovoiteelle?



Vesi (vasemmalla) kostuttaa lasin, mutta elohopea (oikealla) ei.

Vesi nousee ohuessa putkessa ylöspäin siten, että syntyvä nestepinta, meniski, on kovera, kun taas elohopealla meniski on kupera. Tähänkin on syynä veden ja elohopean erilaiset adheesio/koheesio-ominaisuudet. Veden adheesio lasiin on voimakkaampaa kuin vesimolekyylien keskeinen koheesio. Siksi vesi ”kiipeää” lasia pitkin. Vastaavasti elohopean koheesio on voimakkaampaa kuin adheesio, jolloin meniski on kupera.

Meniskin muodostus näkyy korostetusti ohuissa lasiputkissa, kapillaareissa. Vesi nousee korkeammalle ohuemmissa lasiputkissa. Tämän kapillaari-ilmiön vuoksi vesi pystyy nousemaan myös kasveihin. Keittiöpaperin selluloosa muodostaa myös ohuita kapillaareja, jotka pystyvät ”imemään” vettä.

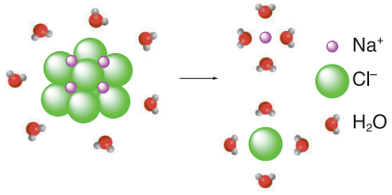


Kapillaari-ilmiön suuruus riippuu lasiputken paksuudesta.

? Pohdi

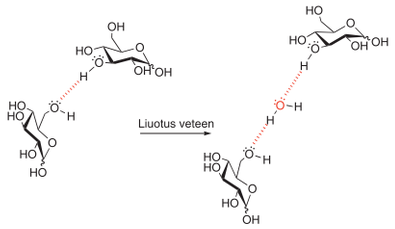
Miten käy elohopealle kapillaariputkessa?

!



$NaCl(s) \longrightarrow Na^+(aq) + Cl^-(aq)$

Suolan liukeneminen veteen



Sokerin liukeneminen veteen

Vesi liuottimena

Poolisena aineena vesi liuottaa poolisia molekyyliyhdisteitä ja ionisia aineita helposti. Tämä on tärkeää ravinnon imeytymiselle. Veteen liukenevat sellaiset kaasut, nesteet ja kiinteät aineet, jotka liukenevat joko molekyyliyhdisteinä tai ioneina. Vesimolekyylien pieni koko ja poolisuus tekevät vedestä hyvän liuottimen.

Luvussa 15 opimme, että kun veteen lisätään esimerkiksi suolaa tai sokeria, kumpikin aine liukenee. Vesi hajottaa sokerin tai suolan kiderakenteen tunkeutumalla joko molekyylien tai ionien väliin. Vesi toimii liuottimena ja sokeri ja suola liukenevina aineina. Kun aine liukenee veteen, sanomme, että se **hydratoituu**. Veteen liuenneita ioneja kuvataan reaktioyhtälössä merkinnöillä $Na^+(aq)$ ja $Cl^-(aq)$. Lyhenne aq tulee latinankielen sanasta aqua, vesi. Aineen liuetessa muuhun liuottimeen kuin veteen tapahtumaa kutsutaan **solvaatio**ksi.

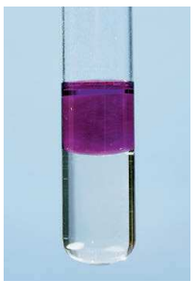
Liuetessaan veteen sokerimolekyylit tai suolan ionit jakautuvat lämpöliikkeen vuoksi lopulta tasaisesti liuokseen ja saadaan homogeeninen liuos. Tätä molekyylien liikkumista liuoksessa sanotaan **diffuusio**ksi. Diffuusion nopeus kasvaa, kun lämpötila nousee. Koska diffuusio on seurausta ionien tai molekyylien lämpöliikkeestä, pienet molekyylit ja ionit ovat isoja ”vilkkaampia” ja niiden diffuusio on nopeampaa.

? Havainnoi

Tarkastele, mitä tapahtuu, kun kaadat varovasti kylmää maitoa kuumaan kahviin.

? Pohdi

Miksi jodi liukenee yläkerroksen bensiiniin, mutta ei alakerroksen veteen? Miksi bensiini ja vesi eivät liukene toisiinsa?



!

Silikageeliin, joka on piidioksidia ja hyvin hygroskooppista, lisätään kobolttikloridia $CoCl_2$ ilmaisemaan kosteutta: kidevedetön $CoCl_2$ on voimakkaan sinistä, mutta kidevedellinen $CoCl_2 \cdot H_2O$ on vaaleanpunaista.

Jotkut suolat sitovat aina vesimolekyylejä kidehilaansa ioni-dipolisidoksella. Tällöin sanotaan, että aineella on kidevettä. Kun tällaista kidevedellistä suolaa kuumennetaan, vesi vapautuu ja muodostuva rapautunut kide pyrkii imemään vettä takaisin ilmasta. Tällaista ainetta sanotaan hygroskooppiseksi, ja monia niistä käytetään kuivausaineina.

!

Puoliläpäisevät kalvot ovat rakenteita, joissa on mikroskooppisia reikiä, kuten solukalvot (esimerkiksi virtsarakko), pergamentti tai sellofaani. Reiät päästävät läpi liuotinmolekyylit, mutta eivät liuenneita aineita.

Osmoosi

Suolakurkkuja valmistetaan laittamalla kurkkuja suolaveteen. Suolavesi imee vettä kurkun sisältä. Jos sitten laitat suolakurkun suolattomaan veteen, kurkku imee sisäänsä vettä, koska sen sisällä on korkeampi suolapitoisuus. Tätä ilmiötä, jossa vesi virtaa puoliläpäisevän kalvon läpi laimeammasta liuoksesta väkevämpään liuokseen, kutsutaan **osmoosi**ksi. Osmoosi siis pyrkii tasapainottamaan pitoisuuksia kalvon eri puolilla.

✔ Osaatko?

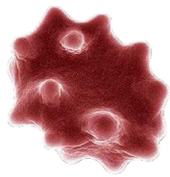
Mihin perustuu puoliläpäisevän kalvon toiminta?

Tohtori Lohi

Lohikalat viettävät suuren osan elämästään suurissa merissä, mutta ne nousevat pohjoisen jokiin kutemaan ja lisääntymään. Lohen pitkäaikaisen elinympäristön, meriveden, suolapitoisuus on 3–4 %, mutta jokiveden vain alle 0,001 %. Lohen noustessa makeaan veteen, osmoosin pitäisi aiheuttaa nopeaa veden imeytymistä, jolloin kalan solukot ja etenkin tukiranka hajoaisivat. Siirtyessään makeaan veteen lohi erittää kalsitoniinia, joka estää osmoosin aiheuttaman nopean veden imeytymisen. Kalsitoniini vaikuttaa luun kalsiumaineenvaihduntaan, ja siitä on kehitetty lääkkeitä ihmisen luukadon hoitoon.

Veren punasolu oltuaan minuutin vähäsuolaisessa vedessä (0,65 % NaCl).

Veren punasolu fysiologisessa liuoksessa.



Veren punasolu oltuaan minuutin korkeasuolaisessa vedessä (1,8 % NaCl).

Osmoosilla on merkitystä esimerkiksi silloin, kun verisuoneen tiputetaan ravinto- tai suolaliuosta. Sairaaloissa annettavan fysiologisen suolaliuoksen suolapitoisuus on sama kuin solunsisäinen suolapitoisuus eli 0,92 %. Tätä pitoisuutta sanotaan isotoniseksi. Jos liuoksen suolapitoisuus on alhaisempi eli hypotoninen, vesi virtaa soluun ja solu halkeaa. Jos taas liuoksen suolapitoisuus on korkeampi eli hypertoninen, vesi virtaa punasolusta pois ja solu luhistuu.

HARJOITUSTEHTÄVÄT

P Perustehtävät

120. Piirrä vesimolekyylejä ja niiden välisiä sidoksia. Mitä erilaisia sidoksia vedellä on?

121. Selitä, miksi
- **a.** vedellä on korkea kiehumispiste
- **b.** vedellä on suuri pintajännitys
- **c.** kiinteänä veden tiheys on pienempi kuin nesteenä.

122. Selitä,
- **a.** mitä vesimolekyylille tapahtuu veden höyrystyessä
- **b.** miksi vesi on poolinen molekyyli
- **c.** miksi vesi laajenee jäätyessään
- **d.** miksi veden kiehumispiste on korkeampi kuin metanolin CH_3OH.

Sy Syventävät

123. Solut ja kudokset sisältävät noin 65 % vettä. Niitä voidaan kuitenkin säilöä nestetypessä ilman, että solut hajoavat veden jäätyessä. Anna tälle selitys.

124. Selitä, mitä sidoksia purkautuu ja muodostuu seuraavien reaktioyhtälöiden tilanteessa:
- **a.** $H_2O(l) \rightarrow H_2O(g)$
- **b.** $NaCl(s) + H_2O(l) \rightarrow Na^+(aq) + Cl^-(aq)$
- **c.** $C_6H_{12}O_6(s) + H_2O(l) \rightarrow C_6H_{12}O_6(aq)$
- **d.** $CH_3OH(l) + H_2O(l) \rightarrow CH_3OH(aq)$

125. Miksi $CO_2(g)$ ja $N_2(g)$ liukenevat paljon huonommin veteen kuin $NH_3(g)$ ja $HCl(g)$?

126. Magnesiumkloridia $MgCl_2$ on luontaisesti merivedessä ja luonnon kivennäisvesissä. Sitä lisätään myös urheilu- ja palautusjuomiin.
- **a.** Miksi magnesiumkloridi liukenee hyvin veteen?
- **b.** Kuvaa piirroksella ja reaktioyhtälöllä, miten $MgCl_2$ liukenee veteen.
- **c.** Mitä tarkoittaa ionien hydratoituminen?

So Soveltavat

127. Miksi lasista limsapulloa ei kannata pakastaa?

128. Selitä, mitä tapahtuu, jos
- **a.** kasveja kastellaan merivedellä
- **b.** verinäyte laitetaan tislattua vettä sisältävään koeputkeen
- **c.** potilaalle annettaisiin sairaalassa 9,2 %:n NaCl-liuosta
- **d.** pehmeäkuoristen marjojen joukkoon lisätään sokeria.

129. Meillä on kahdenlaisia vitamiineja: vesiliukoiset C-vitamiini ja B-ryhmän vitamiinit sekä rasvaliukoiset A-, D-, E- ja K-vitamiinit.
- **a.** Miksi vesiliukoisia vitamiineja on saatava päivittäin ravinnon mukana?
- **b.** Miksi liiallinen rasvaliukoisten vitamiinien nauttiminen on vaarallista?

KOKEELLISUUS

T Työ 16 Jään tiheys

Aineet ja tarvikkeet
- 1 litran mittalasi
- vettä
- muutama jääkuutio, jotka on värjätty elintarvikevärillä
- 400 ml ruokaöljyä

Esivalmistelut:
Tee jääkuutioita, joissa on hieman elintarvikeväriä. Varmista, että jääkuutiot ovat kokonaan jäässä. Tarkista, että jääkuutiot mahtuvat liikkumaan mittalasissa ja että ne kelluvat käytettävässä ruokaöljyssä.

Työn suoritus:
Laita noin 400 ml vettä ja 400 ml ruokaöljyä mittalasiin. Anna kerrosten erottua täysin. Kumpi kerros jää ylemmäksi? Aseta jääkuutio mittalasiin siten, että se jää kellumaan öljyn pinnalle. Tarkastele, mitä tapahtuu jääkuutiolle, kun se sulaa. Kirjaa havaintosi. Voit myös videoida kokeen myöhempää tarkastelua varten.

Työhön liittyviä kysymyksiä:
1. Miten selität havaintosi veden erityisominaisuuksilla?
2. Voitko vaihtaa kokeessa veden bensiiniin, joka on hiilivety?

T Työ 17 Osmoosin tutkiminen perunalla

Aineet ja tarvikkeet
- suuria raakoja perunoita
- tislattua vettä
- natriumkloridiliuosta NaCl(aq), jonka pitoisuus on 60 g/1 l
- mittalaseja (50 ml ja 100 ml)
- dekantterilaseja (100 ml)
- koeputkia
- terävä veitsi ja leikkuulauta
- viivotin
- analyysivaaka (tarkkuus 0,01 g)
- kello

Esivalmistelut:
Valmista NaCl-liuoksesta taulukon mukaiset laimennokset dekantterilaseihin.

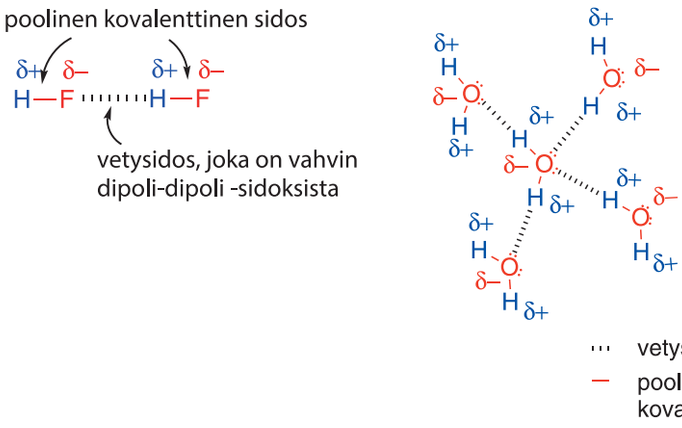
$V(H_2O)$ / ml	V (NaCl) / ml
95	5
90	10
85	15
80	20
75	25
70	30
65	35
60	40

Työn suoritus:
- Pipetoi 10 ml kutakin laimennosta eri koeputkiin. Merkitse putket.
- Pipetoi 10 ml tislattua vettä yhteen koeputkeen.
- Leikkaa perunasta 9 tasakokoista palaa: 0,5 cm x 0,5 cm x 5 cm. Kirjaa palojen koko mahdollisimman tarkasti ylös.
- Punnitse palat ja laita ne koeputkiin yhden tunnin ajaksi.
- Ota perunapalat koeputkista ja kuivaa ne hyvin. Mittaa ja punnitse palat tarkasti.
- Taulukoi tulokset ja esitä tulokset myös pylväsdiagrammina.

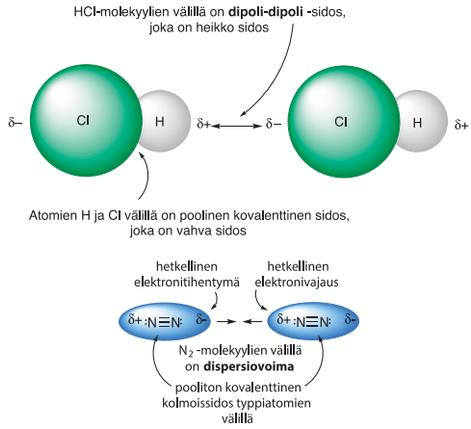
Työhön liittyviä kysymyksiä:
1. Mitä päätelmiä voit tehdä tuloksista ja miten selität saadut tulokset?
2. Mitkä tutkituista liuoksista olivat hypotonisia, mitkä hypertonisia? Oliko joukossa isotoninen liuos?

Visuaalinen kertaus

Vetysidos on heikoista sidoksista vahvin

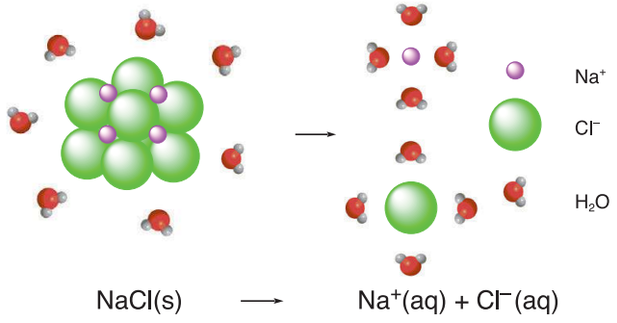


Dipoli-dipolisidos ja dispersio voima

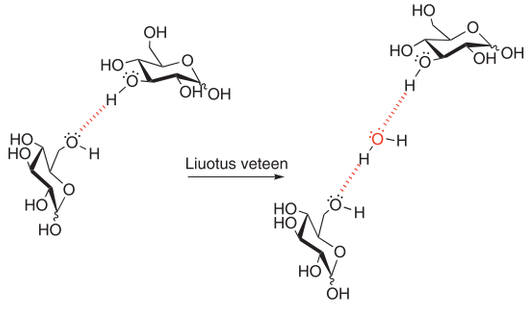


Sidos	Sidosenergia (kJ/mol)	
Atomien välinen		
metallisidos	100 – 900	vahvat sidokset
ionisidos	500 – 4 000	
kovalenttinen sidos	150 – 1 000	
Molekyylien välinen		
vetysidos	8 – 40	heikot sidokset
dipoli-dipolisidos	4 – 25	
dispersiovoima	0,5 – 5	

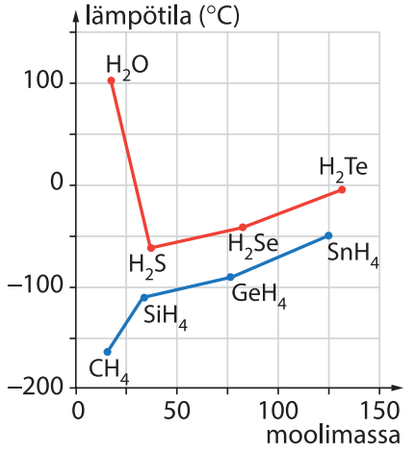
Suolan liukeneminen



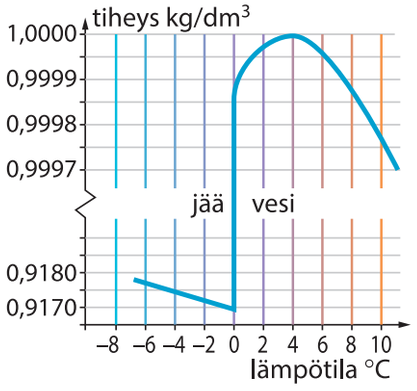
Sokerin liukeneminen



Kiehumispisteen riippuvuus molekyylikoosta

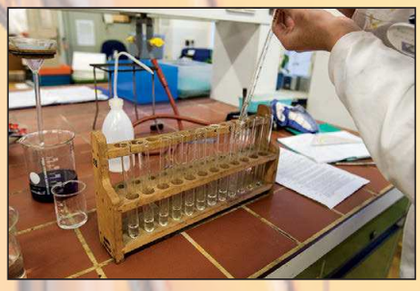


Tiheyden riippuvuus lämpötilasta



V KEMIAN TYÖKALUT

17 Kysymykset tiedon hankinnassa
18 Kokeellista työskentelyä
19 Kemikaalien hyödyt ja haitat
20 Kemian merkitys



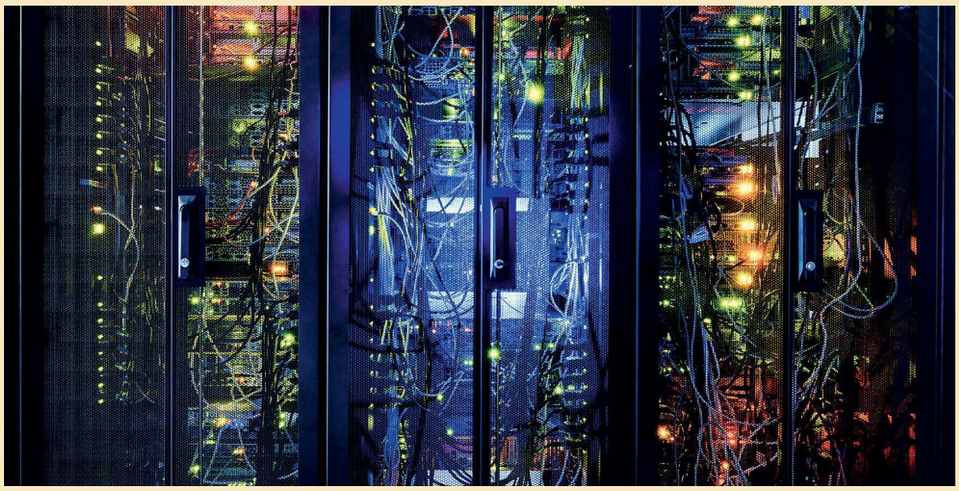
Kemia on ensi sijassa kokeellinen tiede, joka tutkii yllättäviä, hienoja, jännittäviä ja joskus jopa hieman pelottaviakin asioita. Onneksi meille on tarjolla laajalti erilaisia työkaluja, joiden avulla kemian maailmaa voidaan tutkia ja havainnoida turvallisesti. Ensin on kuitenkin opittava kysymään oikeita kysymyksiä! Siihen meillä on hyvät keinot kirjastoissa ja muissa lähdeaineistokokoelmissa. Havaintojen teko on helppoa, kun tunnet muutamia tärkeitä turvallisuusasioita.

Kemikaaleja voidaan käyttää hyödyksi tai haitaksi, siksi sinun on syytä tietää, miten erilaisten kemikaalien ominaisuuksia voidaan hyödyntää, ja yhtä tärkeää, miten niiden haittoja voidaan välttää. Tähän jaksoon voit tulla milloin vain tutustumaan näihin asioihin tai palauttamaan mieleesi, jos joku on jäänyt askarruttamaan.

17 Kysymykset tiedonhankinnassa

! Luvun sisällys

- **Tieteellinen ajattelu**
- **Tiedonlähteet**
- **Tutkielman ja esityksen laatiminen**



Mikään supertietokone ei pysty korvaamaan ihmisaivoja uuden tiedon keksimisessä.

Rafaelin Ateenan koulu: Platon ja Aristoteles keskellä.

Tieteellinen ajattelu

Tieteelliselle ajattelulle on ominaista, että olemassa olevaa tietoa voidaan käyttää selittämään ja ennustamaan luonnonilmiöitä ja muita havaintoja. Mutta mistä olemassa oleva tieto on peräisin?

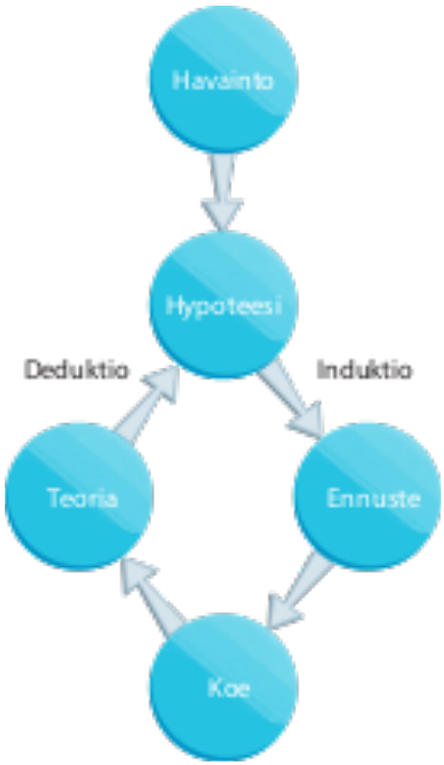
Jo antiikin kreikkalaiset pohtivat tätä kysymystä, ja syntyi kaksi koulukuntaa: Platonin Akatemia ja Aristoteleen Lyseo. Platonin koulukunta painotti erityisesti loogista ajattelua, **logiikkaa**, josta kehittyi matematiikka. Tiedonhankinnan lähtökohtana olivat perusoletukset, joista voitiin **päättelemällä** eli deduktiolla johtaa joitakin seurauksia. Esimerkiksi: jos a = b ja b = c, niin a = c. Aristoteleen koulukunta perustui havainnointiin, **empirismiin**. Päättelyä, jossa yleistykset perustuvat joukkoon havaintoja, kutsutaan **induktioksi**. Aristoteles oletti olevan neljä alkuainetta, maa, tuli, ilma ja vesi, joista kaikki aine on muodostunut. Tämä ajattelu säilyi vuosisatojen ajan, kunnes vasta 1500-luvulla varsinainen tieteellinen ajattelutapa alkoi kehittyä.

✔ Osaatko?

Käykää argumentoitu keskustelu deduktiivisen ja induktiivisen päättelyn eroista.

? Pohdi

Tee aikajana tieteen merkkipaaluista antiikin ajoista nykypäivään. Miten 1500-luku on erityisen tärkeää aikaa tieteiden kehitykselle?



Tieteellisessä menetelmässä havainnosta tehdään hypoteesin ja induktion avulla ennuste, joka voidaan testata kokeellisesti. Tästä voidaan deduktiolla johtaa teoria. Teoriasta voidaan luoda uusia hypoteesejä, ja sykli jatkuu, kunnes teoriaa ei tarvitse enää korjata.

Louis Pasteur Albert Edelfeltin maalauksessa.

Luonnontieteet

Varsinaisen tieteellisen menetelmän lähtökohtana on, että ei tehdä oletamuksia, vaan **havainnoidaan** tarkasti luonnonilmiöitä ja pyritään selittämään ilmiö. Kun on tehty tarpeeksi havaintoja niin, että selkeitä yhteneväisyyksiä alkaa erottua, voidaan tehdä yleistyksiä tai luonnonlakeja. Luonnonlaki on lyhyt kuvaus jostakin havaittavasta ilmiöstä. Usein se pyritään esittämään matemaattisessa muodossa. Luonnonlaki voidaan todistaa suorittamalla kokeita, joilla voidaan osoittaa, ovatko luonnonlaista johdetut päätökset kokeellisesti todennettavissa.

Puolalainen **Nicolas Kopernikus** teki 1400-luvulla huolellisia havaintoja planeettojen liikkeistä ja päätteli niiden perusteella, että Maa kiertää aurinkoa ympyränmuotoisella radalla, vaikka yleinen käsitys siihen aikaan oli, että aurinko ja muut taivaankappaleet kiertävät maapalloa.

Luonnonlain merkitys on sitä suurempi, mitä paremmin se pystyy selittämään havainnot ja ennustamaan uusia. Kopernikuksen työn perusteella pystyttiin ennustamaan uusien planeettojen sijainti entistä tarkemmin. Luonnonlaki ei kuitenkaan ole lopullinen, absoluuttinen totuus. Myöhemmät kokeet voivat edellyttää, että lakia muokataan. Näin kävi myös esimerkiksi Kopernikuksen ideoille, kun puoli vuosisataa myöhemmin **Johannes Kepler** osoitti, että planeettojen kiertoradat ovat ellipsinmuotoisia.

Sattuma

Sattumalla on merkittävä rooli keksintöjen syntymisessä. Luonnonkumi on haurasta kylmässä ja lämpimässä tahmeaa. Puhtaasta luonnonkumista ei voida tehdä esimerkiksi ajoneuvojen renkaita. Vuonna 1839 amerikkalainen keksijä **Charles Goodyear** yritti kehittää kumia, jolla ei olisi näitä huonoja ominaisuuksia. Kokeita tehdessään hän vahingossa kaatoi kumi-rikkiseosta kuumalle liedelle ja huomasi, että näin syntyneellä materiaalilla oli juuri toivotut ominaisuudet. Hän oli keksinyt kumin vulkanoinnin. Muita tunnettuja sattumalta keksittyjä asioita ovat röntgensäteet, radioaktiivisuus ja penisilliini. Tutkijan pitää aina olla valpas ennalta arvaamattomille havainnoille – tai Louis Pasteurin sanoin: ”Sattuma suosii valpasta mieltä.” Tarvitaan siis laaja tietopohja ja harjaantunut kyky tehdä päätelmiä havainnoista, jotta ymmärrämme havaitsemamme ja pystymme luomaan niiden pohjalta jotain uutta.

✔ Osaatko?

Selvitä, mikä oli sattuman merkitys röntgensäteiden, radioaktiivisuuden ja penisilliinin keksimisessä. Etsi muita esimerkkejä ”sattumalta” keksityistä kemian keksinnöistä.

Kysymykset

Luonnontieteellisen tutkimuksen perustana ovat kysymykset. Ympäristöä on havainnoitava ja näistä havainnoista on osattava tehdä oikeanlaisia päätelmiä. Yksinkertaiset kysymykset, joihin voidaan saada yksiselitteiset vastaukset, ovat aina parempia kuin kysymykset, joihin vastauksena on joukko uusia kysymyksiä. Hyvin muotoiltuun kysymykseen vastaus on joko kyllä tai ei.

Usein havainnolle voi olla useita selityksiä, jotka ovat keskenään jopa ristiriitaisia. Mikä näistä selityksistä on paras? Jos ongelmaan on olemassa useampia vaihtoehtoisia ratkaisuja, niistä paras on se, joka edellyttää vähiten alkuoletuksia. Tämä ns. Okkamin partaveitsi voidaan esittää lyhyesti myös muodossa: yksinkertaisin ratkaisu on paras.

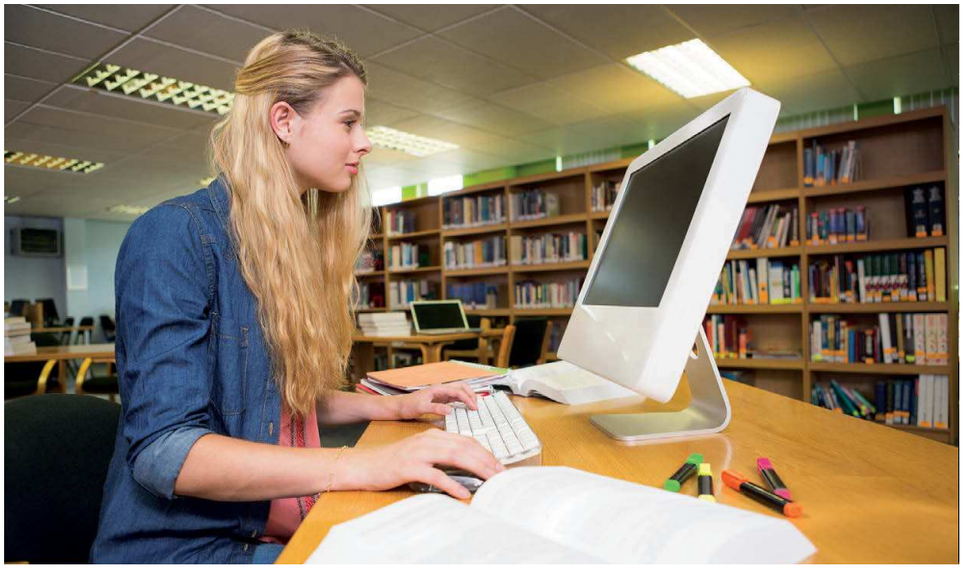
? Pohdi

Ryhmätehtävä: Yksi miettii kohteen, muut yrittävät selvittää kysymyksillä, mikä kohde on. Vastauksiksi hyväksytään vain kyllä tai ei.

Tiedonlähteet

Platon määritteli tiedon siten, että lause on tietoa, kun se täyttää seuraavat kolme vaatimusta: se on perusteltua, totta ja uskottua. Esimerkiksi havainto muuttuu tiedoksi vasta, kun se on perustellusti esitetty joukolle ihmisiä, jotka uskovat siihen.

Uusi tieteellinen tieto esitetään tieteellisissä julkaisuissa, ja siitä se kootaan erilaisiin tietokantoihin, kokoomateoksiin ja oppikirjoihin. Uusinta tietoa löytyy helposti internetin kautta, mutta millaisilla hakukoneilla tietoa kannattaa hakea?



Kirjastoihin taltioidaan monenlaista tietoa painetussa ja yhä kasvavassa määrin elektronisessa muodossa.

? Pohdi

Tee haku samalla avainsanalla useilla hakukoneilla, esimerkiksi Googlella, Google Scholarilla, Yahoo Searchilla tai Bingillä. Mitä voit päätellä hakutuloksista? Vertaa tuloksia muiden hakutuloksiin. Mitä huomaat?

Kemian alalla, kuten kaikilla muillakin teknologian aloilla, kaupallisesti merkittävät keksinnöt suojataan patenteilla. Patentit ovat usein vaikealukuisia, mutta niissä on kuvattu keksintö hyvin yksityiskohtaisesti. Kansainvälisten sopimusten mukaisesti patentit ovat julkisia asiakirjoja, ja niitä voi hakea ja selailla yksinkertaisesti esimerkiksi Euroopan Patenttiviraston sivuilta https://www.epo.org/index.html.

Tiedonhankinta ja kestävä kehitys

Hyvin usein kemian teollisuudessa syntyy sivutuotteina aineita, joilla ei ole kaupallista merkitystä ja ne on hävitettävä. Kemistin ja kemisti-insinöörin on tunnettava vastuunsa ympäristöstään ja kyettävä ennakoimaan riskit ympäristölle haitallisten aineiden osalta. On siis selvitettävä, millaiset ominaisuudet tietyllä aineella on. Näin voidaan arvioida, mitä haittoja kulloisetkin päästöt voivat aiheuttaa ja ovatko ne sallittuja.

Prosessiteollisuuden tutkimus- ja kehitystoiminnan tavoitteisiin kuuluu oleellisesti taloudellisuuden lisääminen. Näissä tapauksissa tulee esiin kysymys, miten suoritetaan jokin kemiallinen reaktio tai miten tiettyä tyyppireaktiota voidaan parantaa.

Riittävän terveydenhuollon, lääkinnän ja ravinnon turvaaminen on tavoite, jolla on merkitystä sekä yksilölle että yhteisölle niin teollistuneissa kuin kehitysmaissakin. Kemianteollisuus voi pyrkiä ratkaisemaan näitä ongelmia monin tavoin: kehittämällä lannoitteita, kasvinsuojeluaineita ja tuholaismyrkkyjä, joilla on aiempaa vähemmän haittavaikutuksia; kehittämällä lääkkeitä, jotka ovat kohdennetumpia tai tehokkaampia tai joilta puuttuu haitalliset sivuvaikutukset. Usein parempien tuotteiden kehittely pohjautuu jo tunnettuun yhdisteryhmään, johon kuuluu sellaisia yhdisteitä, joilla jo on tavoiteltu tai sen suuntainen vaikutus.

Kemian laboratoriossa tutkimuksen suunnittelu kattaa kaikki yllä esitetyt ongelmat. Kemistin arkipäivään kuuluu tavallisimpina vähemmän syvälliset kysymykset, kuten onko jokin yhdiste jo tunnettu, miten se valmistetaan, mikä on yhdisteen rakenne, sulamispiste, kiehumispiste, analyysiarvot jne. Kysymys liittyy siis tavallisesti tiettyyn kemialliseen yhdisteeseen.

Edellä esitettyjen tyyppiongelmien ratkaisu on sangen suoraviivainen prosessi. Kun itse ongelma on analysoitu ja paloiteltu, voidaan ratkaisua hakea yksinkertaisesti viereisen kaavion avulla.

Tiedonhankinta voidaan kuvata prosessina, jonka aikana pohdit ja täsmennät ongelmanasetteluasi, ja käytät monenlaisia tiedonlähteitä, tiedonhakutekniikoita ja kirjastojen palveluja.

Tarkempi prosessin vaiheiden kuvaus:

- ongelma/aihe: tiedontarve syntyy, kun on löydettävä tietoa ongelman ratkaisemiseksi
- kysymyksen asettelu: valitse tiedonlähteet, hakutavat ja hakusanat
- tiedonhaun toteutus
- hakutulosten arviointi: arvioi tiedonhaun tulos (viitteiden määrä ja osuvuus)
- tiedon käyttö ja arviointi: arvioi lopullista tulosta (lähdekritiikki ja tutkimusetiikka).

Tiedonhankinta on aikaa vievä prosessi. Suunnittele tiedonhakusi huolella etukäteen ja kirjaa aina ylös niin hakusuunnitelma kuin hakuprosessin eri vaiheet.

✔ Osaatko?

Etsi joku ajankohtainen kemiaan liittyvä keksintö, kehitystyö tai ongelma ja tee siitä tiedonhaku edellisen sivun kaavion mukaisesti. Kirjoita tämän jälkeen tutkielma tai tee kuvaesitys seuraavan sivun ohjeiden mukaan.

Vertaisarviointi

Hyvin usein huolellisen tiedonhankinnan jälkeen päädytään tilanteeseen, jossa on löydetty tietokannoista ja muista tiedonlähteistä useita vaihtoehtoisia ratkaisuja. Okkamin partaveistä ei välttämättä voida soveltaa, jos tutkimuksen kohde on kokonaan uusi, eikä siis voida arvioida, mikä ratkaisu on yksinkertaisin. Millä eri tavoin sitten voidaan valita luotettavin ratkaisu?

Tässä kysymykseen tulee juuri tiedon luotettavuus. Miten voidaan päätellä, mikä tieto on luotettavampaa kuin jokin toinen. Tieteissä on vakiintunut käytäntö luottaa vertaisarviointiin. Kun tutkimustulokset julkaistaan, ne menevät ensin seulan läpi, jossa joukko asiantuntijoita tarkistaa, ovatko tulokset esitetty luotettavasti. Kun sitten työ julkaistaan, se asetetaan muiden tutkijoiden kokeiltavaksi ja varmennettavaksi. Vertaisarviointi siis jatkuu vielä julkaisun jälkeenkin.

? Pohdi

Mitä seuraavat tilanteet saattavat kertoa julkaisun luotettavuudesta?
Julkaisuun ei ole viitattu juuri lainkaan.
Julkaisuun on viitattu paljon, mutta kukaan ei ole toistanut julkaisussa suoritettuja kokeita.
Julkaisun menetelmää on käytetty onnistuneesti paljon.

Tutkielman ja esityksen laatiminen

Tutkielma

Tutkielman osat

1. Kansilehti
2. Tiivistelmä
3. Sisällysluettelo
4. Varsinainen tutkielma
5. Lähdeluettelo
6. Liitteet

Ennen kirjoittamista:

- Tutustu aiheeseen ja kerää kirjallisuudesta taustamateriaalia.
- Jäsennä asiat mielessäsi loogiseen järjestykseen. Käytä apuna kaavioita, kuvia, tukisanoja, käsitekarttoja ja avainkäsitteitä.
- Laadi tutkielman varsinaisen osan runko.

Kirjoittaminen

- Kirjoita hyvällä yleiskielellä ja käytä kokonaisia lauseita. Kappaleiden tulee muodostaa yhtenäisiä kokonaisuuksia. Käytä tarvittaessa väliotsikoita.
- Kirjoita tarkkaa luonnontieteellistä tekstiä, jota selvennät ja syvennät kuvilla, kaavioilla, reaktioyhtälöillä ja esimerkeillä. (Muista näiden oikea muoto.)
- Kirjoita asia omin sanoin, koska tekstin kopiointi lähteistä on plagiointia, joka on petos. Muista, että tiivis napakka tutkielma on parempi kuin pitkä ja rönsyilevä sepustus.
- Kirjoituksen muoto riippuu julkaisualustasta: käsinkirjoitetussa kiinnitetään huomio selkeään käsialaan. Tekstinkäsittelyohjelmissa käytetään tekstimalleja.

Kuvaesitys

Ryhmätöiden esitykseen kuvaesitys on usein hyvä muoto. Kun valmistelette esityksen, muistakaa että

- esityksen kuvien on muodostettava yhtenäinen kuvaus tehdystä työstä
- kuvia tulee olla sopiva määrä: yhden kuvasivun esittämiseen kuluu noin 1 minuutti
- yhdellä sivulla ei saa olla liikaa tekstiä ja se esitetään yleensä lyhyinä lauseina ranskalaisin viivoin
- kaikkien kuvien esittämiseen tulee olla oikeus
- ryhmän jäsenten työpanos tulee käydä ilmi esityksen aikana
- et voi lukea suoraan kuvissa olevia tekstejä, vaan valmistaudut laajemmalla, kirjallisella selvityksellä, jota voit käyttää tukena esityksen aikana.

18 Kokeellista työskentelyä

! Luvun sisällys

- **Työturvallisuus**
- **Kokeiden suunnittelu**
- **Kokeellinen työskentely**
- **Tulosten kirjaaminen ja raportointi**

KEMIKAALIEN VAROITUSMERKIT

GHS01
Räjähtävä

GHS02
Syttyvä

GHS03
Hapettava

GH04
Paineenalaiset kaasut

GH05
Syövyttävä

GH06
Välittömästi myrkyllinen

GH07
haitallinen/ärsyttävä/ herkistävä, vaarallinen otsonikerrokselle

GH08
Vakava terveysvaara

GH09
Ympäristölle vaarallinen

CLP-asetuksen (EY) N:o 1272/2008 mukaiset varoitusmerkit,
jotka ovat olleet voimassa 1.6.2015 lähtien kaikkialla EU:n alueella. Luokitusjärjestelmä perustuu GHS-järjestelmään (Globally Harmonized System of Classification and Labelling of Chemicals), joka on valmisteltu YK:ssa. Varoitusmerkkien ohella kemikaalipakkauksista tulee löytyä vaaralauseke (H-lauseke) ja turvalauseke (P-lauseke). Ajantasaista lisätietoa löytyy Tukesin ja REACHin (**R**egistration, **E**valuation, **A**uthorisation and **R**estriction of **CH**emicals) verkkosivuilta.

Tehtävä
Ota selvää, mitkä ovat Tukesin ja REACHin tehtävät kemikaaliturvallisuuden ylläpitämisessä.

LABORATORION TURVAJÄRJESTELYT

Jokaisesta laboratorioluokasta pitää löytyä seuraavat turvalaitteet ja -tarvikkeet:
- hätäpoistumistie
- sammutin
- sammutuspeite
- hätäsuihku
- silmänhuuhtelupullo tai -piste
- sähkön hätäkytkin.

Ennen töiden aloittamista tarkista, että turvavälineistö on asianmukaista ja osaat toimia oikein hädän hetkellä.

Suojavarusteet:
Selvitä, missä on suojalasien, -hansikkaiden ja työtakkien säilytyspiste. Käytä niitä tarvittaessa.

TYÖTURVALLISUUS LABORATORIOSSA

Ennen työn aloittamista
- Tutustu huolellisesti työohjeeseen ja kuuntele ohjeet tarkkaavaisesti.
- Tutustu aineiden ominaisuuksiin. Kiinnitä huomio varoitusmerkkeihin.
- Selvitä turvajärjestelyt.
- Käytä tarvittaessa suojalaseja, työtakkia, suojakäsineitä. Poista huivit ja sido pitkät hiukset.

Työn aikana
- Käytä asianmukaisia välineitä
- Käytä oikeita työskentelytekniikoita ja merkitse astiat oikein.
- Työskentele huolellisesti ja rauhallisesti.
- Vältä turhaa liikkumista astioiden ja kemikaalien kanssa.
- Älä laita mitään suuhusi laboratoriossa.
- Vältä aineiden haistelua ja käytä tarvittaessa oikeaa haistelutekniikkaa.
- Pidä helposti syttyvät ja palavat yhdisteet pois lämmönlähteiden ja avotulen läheisyydestä.

Työn jälkeen
- Lajittele jätteet niille osoitettuihin keräysastioihin.
- Palauta kemikaalit niille tarkoitettuun paikkaan.
- Tiskaa astiat ja laita ne paikoilleen.
- Siivoa työtilasi ja palauta suojavarusteet paikoilleen.
- Pese ja kuivaa kätesi huolellisesti.

Työturvallisuus

Turvallisuusvarusteet

Sammutuspeite, sammutin ja hätäsuihku.

Ennen kemian töiden aloittamista sinun tulee tutustua luokkasi työturvallisuuteen ja varmistua, että osaat toimia oikein mahdollisen vahingon sattuessa. Yleinen siisteys ja rauhallinen työskentely ovat osa työturvallisuutta. Siksi turhaa liikkumista laboratoriossa tulee välttää.

Käytä myös aina asianmukaista suojavarustusta. Opettele käyttämään kemikaaleja, kemian välineistöä ja laitteita oikein.

Erityisen tarkka tulee olla, kun käsitellään syövyttäviä aineita tai avotulta. Suojalasit ovat silloin pakollinen suojavaruste. Piilolinssejä ei suositella käytettäväksi laboratorioissa, mutta silmälasienkin päälle tulee laittaa suojalasit, jotka suojaavat myös sivuroiskeilta. Pitkät hiukset tulee sitoa kiinni tai käyttää peittävää päähinettä. Suojakäsineitä tarvitset harvoin, koska et koskaan käsittele kemikaaleja käsin. Työtakki suojaa lähinnä lialta. Muistathan, että suurin osa tekstiileistä ei kestä happoja ja voivat sulaa kuumuudessa tai syttyä avotulen läheisyydessä.

Kemianluokassa ei saa koskaan syödä mitään ja kädet pitää pestä ennen ja erityisesti töiden jälkeen.

Suojalasit ja työtakki ovat kemistin työasu. Huomaa, että pitkät hiukset pidetään laboratoriossa kiinni.

Kokeiden suunnittelu

Tutustu työohjeeseen huolellisesti ennen kokeellisen työn aloittamista. Sinun tulee olla etukäteen selvillä, mikä on työn tarkoitus ja mitkä ovat työvaiheet. Joskus tehtävä vaatii, että teet yksikkömuunnoksia tai lasket joitain arvoja annetuista tiedoista. Nämä tehdään ja kirjataan muistiinpanoihin aina ennen työn aloitusta.

Kerää seuraavaksi työpisteeseesi kaikki työssä käytettävät tarvikkeet ja kemikaalit. Ota huomioon myös työturvallisuus. Kemikaalien käyttöturvallisuustiedotteissa kerrotaan tarkemmin niiden ominaisuuksista. Kaikki kemikaalit ovat turvallisia oikein käytettynä.

✔ Osaatko?

Selvitä kemianluokan turvavarusteiden sijainti ja piirrä siitä kartta työkirjaasi. Osaatko käyttää sammutuspeitettä ja silmänpesupulloa?

Käy tämän jälkeen mielessäsi läpi työn vaiheet ja tee alustavat merkinnät muistiinpanoihisi. Mieti, mitä sinun tulee **havainnoida**, mitä **mitata** tai **punnita** työn aikana ja sen jälkeen. Kirjaa ylös kaikki välitulokset lopputuloksia varten tehtäviä laskutoimituksia varten.

Jos työohjeessa ei ole yksityiskohtaisia toimintaohjeita, suunnittele kaikki työvaiheet ennen ensimmäistäkään kokeellista vaihetta. Kemian koe pitää suunnitella siten, että se auttaa ymmärtämään ja antaa lisäselkoa johonkin kemian ilmiöön. Koe ei anna vastausta kysymykseen: ”Mitä tapahtuu, kun…” Hyvin suunnitellun ja suoritetun kokeen jälkeen saat sen sijaan vahvistuksen kyllä tai ei ennakkoon asetetulle kysymykselle: ”Tapahtuuko…, jos…” Tästä syystä sinun on koetta suunnitellessasi muotoiltava väite ”Tämän työn tarkoituksena on…” ja valittava varsinaiset kokeelliset vaiheet sen mukaan, että testaat nimenomaan tuota asettamaasi tarkoituslausetta.

Tässä vaiheessa ennen koetta on syytä myös miettiä valmiiksi, missä muodossa esität tuloksesi. Joskus pelkkä lukuarvo, rakennekaava tai sanallinen lause riittää. Usein mittaustulokset tulee kuitenkin taulukoida ja laatia kuvaaja tämän perusteella.

Hyvin usein kokeet tehdään pari- tai ryhmätyönä. Sovi tässä vaiheessa työnjako parisi tai ryhmäsi jäsenten kanssa. Usein on hyödyllistä kuvata koesuoritus ja tarkistaa tapahtumat videolta jälkikäteen. Yksi ryhmän jäsenistä voi toimia kuvaajana, kun yksi tekee aineiden lisäykset ja joku muu kirjaa tuloksia ylös.

Seuraa myös ympäristöäsi niin, että osaat mahdollisen vahingon sattuessa toimia oikein.

E Esimerkki **Työ: Alkoholin poolisuuden vaikutus sen ominaisuuksiin**

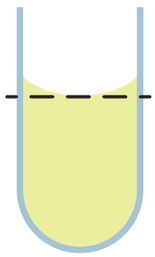
Alkoholimolekyyleissä voi olla useita hydroksyyliryhmiä eri hiiliin sitoutuneena. Hiiliketjun kasvattaminen tekee molekyylistä poolittomamman, mutta hydroksyyliryhmän liittäminen hiileen lisää yhdisteen poolisuutta.
Tämän työn tarkoituksena on selvittää, miten hiiliatomien ja hydroksyyliryhmien lukumäärä vaikuttaa alkoholien poolisuusominaisuuksiin: kiehumispisteeseen ja liukoisuuteen veteen.

Kokeellinen työskentely

MITTAVÄLINEIDEN TARKKUUS
Kemian töissä tavallisimpia mitattavia suureita ovat **massa**, **tilavuus**, **lämpötila** ja **aika**.

Massa
Punnitustulos annetaan vaa´an lukemana mahdollisimman lähelle ohjeessa annettua arvoa. Esimerkiksi ohjeen käskiessä punnita tarkasti 1 g, mittaustulos voi olla laitteen mittaustarkkuudesta riippuen siis 0,98 g tai vaikka 1,0020 g.
Muista kuitenkin, että digitaalisen näytön viimeinen numero on aina epävarma.

Tilavuus
Byreteissä, mittalaseissa ja -pipeteissä mittaustarkkuus on puolet mitta-asteikon jakovälistä. Täyspipeteissä ja mittapulloissa on mahdollista mitata vain yksi astiaan merkitty tilavuus. Vesiliuoksilla nestepinta mitataan kohtisuoraan kaarevan meniskin alimmalta kohdalta.



Lämpötila
Elohopea- ja alkoholilämpömittareita luetaan kuten pipettejä. Tarkkuus on näissäkin puolet asteikon jakovälistä.

Kokeellinen kemia vaatii hyvää ennakkosuunnittelua. Hyvän kokeen tunnusmerkki on, että se ei ole liian monimutkainen ja mittaa mielellään vain yhtä asiaa kerrallaan. Varsinainen koesuoritus edellyttää hyviä perustekniikoita. Olet peruskoulussa opetellut sytyttämään ja sammuttamaan kaasupolttimen ja kuumentamaan erilaisia liuoksia. Olet saanut myös punnita kiinteitä aineita ja mitata nesteitä pipetillä tai mittalasilla. Lukion kursseilla opit uusia tekniikoita ja harjoittelet jo aiemmin oppimiasi lisää. Työskentelyä helpottaa, kun olet valinnut oikein tarvikkeet ja laitteet. Muutama perussääntö on hyvä pitää mielessä:

- Valitse mitta-astia vaadittavan tarkkuuden mukaan: 1 ml mitataan Pasteur-pipetillä, 27 ml mittalasilla, mutta 0,2 l riittää dekantterilasin tarkkuus. Ei kannata myöskään punnita 100 g:aa analyysivaa´alla, mutta 0,025 g:n punnitukseen se tarvitaan.
- Valitse astian koko niin, että se on kaikkien lisäystenkin jälkeen vähintään 1/3 mutta enintään 2/3 tilavuudestaan täynnä. Jos reaktiossa on kaasunmuodostusta, täytä astia enintään puolilleen.
- Älä koske käsin kuumiin astioihin. Käytä pihtejä tai odota, että astia jäähtyy ensin. Kuumenna vain kuumuudenkestäviä astioita.
- Älä koske kemikaaleihin käsin. Älä kaada varastoastioista pienempään reaktioastiaan, vaan käytä lusikoita, spaateleita tai pipettejä. Jokaiselle aineelle tulee olla oma lusikkansa tai pipettinsä.
- Siivoa heti roiskeet tai kaatuneet nesteet ja ylimenneet jauheet. Tarkista aina ensin, voiko liikaa mitatun aineen lopun laittaa takaisin varastoastiaan.
- Lue tarkkaan laitteiden käyttöohjeet ja palauta laite aina perusasetuksille käytön jälkeen.

✔ Osaatko yhdistää?

Työväline	Tehtävä
1. Haihdutusmalja	A. Ota 0,157 g ruokasuolaa NaCl.
2. Mittalasi (100 ml)	B. Tarvitset 7,5 ml etanolia.
3. Analyysivaaka	C. Selvitä, paljonko $MgCl_2$:n vesiliuoksessa on suolaa.
4. Tislauslaitteisto	D. Laita reaktioastiaan 25 ml vettä.
5. Dekantterilasi (250 ml)	E. Liuota 5 lusikallista sokeria n. 50 ml:aan vettä.
6. Mittapipetti (10 ml)	F. Erota asetoni ja vesi toisistaan näiden seoksesta.
7. Byretti (100 ml)	G. Erota öljy ja vesi toisistaan näiden seoksesta.
8. Mittapullo (10 ml)	H. Lisää 67,5 ml NaOH-liuosta happoliuokseen.
9. Erotussuppilo (250 ml)	I. Valmista 10,0 ml etanoliliuosta, joka on 25 til-%.
10. Erlenmeyerpullo (100 ml)	J. Lisää liuokseen 48 ml vettä.

Tulosten kirjaaminen ja raportointi

Jo ennen varsinaista kokeen suoritusta ja kokeellisen työskentelyn aikana sinun tulee kirjata laskutoimituksia ja havaintoja sekä lopputuloksia muistiin. Kokeen lopuksi sinun tulee raportoida työsi tulos. Jos työssä on havaittavissa värinmuutoksia tai kaasunmuodostusta, työ kannattaa videoida. Muutoin voit tehdä muistiinpanosi paperille vihkoosi, valmiille kaavakkeille tai sähköisinä muistiinpanoina.

Merkitsevät numerot ja lopputuloksen tarkkuus

Kaksi merkitsevää numeroa:
0, 0**34** ml

Kolme merkitsevää numeroa:
0,0**340** ml

Kaikissa seuraavissa merkinnöissä on neljä merkitsevää numeroa:
0,0**2470** g **2 470** mg
0,0000**2470** kg **2,470** · 10^{-3} g

Kaksi merkitsevää numeroa:
30 mg

Kolme merkitsevää numeroa:
3,00 · 10^{-3} g

Mittaustuloksissa ei ole tarkoitus ilmoittaa aivan täsmälleen työohjeissa annettua määrää, koska mittalaitteiden tarkkuudet vaihtelevat. Edellisen sivun esimerkissä punnittu 1 g voi siis olla mittaustarkkuuden mukaan 0,98 g tai 1,0020 g. Jälkimmäinen punnitustulos ei kuitenkaan välttämättä ole oikeampi tulos. Merkitsevien numeroiden käsite on tästä syystä tärkeää oppia hyvin.

- Desimaaliluvuissa alussa olevat nollat eivät ole merkitseviä, mutta lopussa olevat ovat.
- Kokonaisluvun lopussa oleva nolla tulkitaan kemiassa merkitseväksi, jos kyseessä on mittaustulos.

Tehtävissä annettujen numeeristen arvojen tarkkuus voi vaihdella. Lopputuloksen tarkkuus on sama kuin **epätarkimman mittaustuloksen**. Tarkkuus määräytyy siis mittaustuloksista, ei taulukkokirjasta katsotuista arvoista. Taskulaskimien näyttöön mahtuu tyypillisesti kymmenen numeromerkkiä. Laskutehtävissä annat kuitenkin enintään **2–3 numeroa** enemmän kuin lopullisessa vastauksessa. Tämä luku annetaan katkaistuna, pyöristämättömänä lukuna. Vasta lopputulos pyöristetään.

25,5606 · 0,00**22** = 0,05623… ≈ 0,0**56**

- Kerto- ja jakolaskussa tarkkuus määräytyy sen luvun mukaan, jossa on vähiten merkitseviä numeroita.

326 + 22,476 + 0,10 = 348,576 ≈ **349**

- Yhteen- ja vähennyslaskussa lopputuloksessa on niin monta desimaalipilkun jälkeistä numeroa kuin on laskun epätarkimmassa desimaaliluvussa.

Kahden desimaalin tarkkuudella:
51, 923 ≈ 51,92
Kolmen desimaalin tarkkuudella:
10,5517 ≈ 10,552

- Ota huomioon pyöristyssäännöt: 1–4 pyöristyy alaspäin, 5–9 ylöspäin.

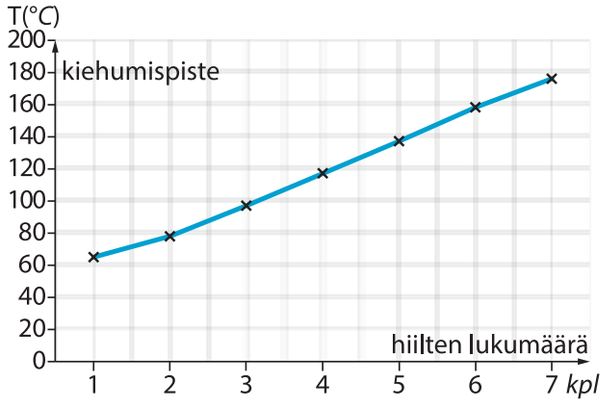
Taulukot ja graafiset esitykset

Jos kokeellisessa työssä tehdään useita mittauksia, on niiden tulosten esittäminen havainnollisempaa, kun mittaustulokset taulukoidaan ja niistä laaditaan kuvaaja. Suureiden välinen riippuvuus on tällöin helpompi havaita. Sekä taulukko että graafinen kuvaaja tulee laatia yleisesti sovitulla tavalla, jotta kaikki ymmärtävät sen sisällön samalla tavalla:

1. Taulukon otsikko kirjoitetaan taulukon yläpuolelle ja sen on oltava riittävän kuvaava.
2. Taulukot numeroidaan juoksevalla numerolla.
3. Ensimmäiselle riville kirjoitetaan sarakkeiden otsikot. Jos otsikkona on suure, yksikkö kirjoitetaan sulkuihin suuremerkinnän jälkeen.
4. Lukuarvot esitetään siten, että samaa suuruusluokkaa olevat luvut tulevat kohdakkain.

Taulukko 2.1 Hiiliketjun pituuden vaikutus alkoholien kiehumispisteeseen

Hiilten lukumäärä (kpl)	Kiehumispiste T(°C)
1	65
2	78
3	97
4	117
5	138
6	158
7	176



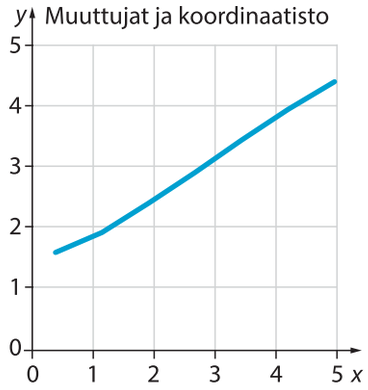
Kuva 1. Hiilivedyn kiehumispiste hiiliketjun pituuden funktiona.

1. Kuvaajan nimi kirjoitetaan kuvaajan alle riittävän selkeästi.
2. Kuvaajat numeroidaan juoksevalla numerolla.
3. Valitaan vaaka- ja pystyakselien suureet oheisen ohjeen mukaisesti.
4. Kuvaaja laaditaan millimetri- tai ruutupaperille tai lasketaan taulukkolaskentaohjelmalla.
5. Akseleille kirjoitetaan pelkät suureiden lukuarvot tasavälein.
   a. Vaaka-akselin yksikkö tulee oikealle, akselin alle
   b. Pystyakselin yksikkö tulee vasemmalle, akselin yläosaan.
6. Esitettävän suureen nimi tai kirjaintunnus sijoitetaan akselin sisäpuolelle lähelle yksikköä.
7. Mittauspisteet yhdistetään jatkuvalla viivalla, joka sovitetaan pisteisiin. Ei käytetä murtoviivaa!
8. Jos samassa koordinaatistossa on useita kuvaajia, erotetaan ne selkeästi toisistaan eri väreillä tai symboleilla. Värien tai symbolien selitys lisätään graafisen esityksen viereen.

Lopuksi kaikkiin työselostuksiin tulee lisätä tulosten tarkastelu ja arviointi. Saatujen tulosten lisäksi tulee arvioida myös käytettyjä työmenetelmiä ja työvaiheita kriittisesti.

Muuttujat ja koordinaatisto

Kun piirrät kuvaajan koordinaatistoon, riippumatonta suuretta kuvaava muuttuja tulee x-akselille ja tästä riippuvaa suuretta kuvaava muuttuja y-akselille.



Tulosten tarkastelu

Saatujen tulosten uskottavuutta määritettäessä tulee osata arvioida, onko tieto

- **pätevää** eli mitattiinko haluttuja asioita
- **tarkkaa** eli mahdollisimman tarkasti mitattua
- **täsmällistä** eli mahdollisimman lähellä teoreettista tulosta
- **luotettavaa** eli riippumattomasti toistettavaa.

Tarkastelussa on lisäksi arvioitava

- **virheen laatua** eli mitä eri virhelähteitä työhön ja sen tuloksiin voi liittyä sekä
- **virheen suuruutta** eli lasketaan virherajat, joiden sisällä tulosten vaihtelu on vielä sallittavaa.

19 Kemikaalien hyödyt ja haitat

! Luvun sisällys

- **Kemikaalit ja me**
- **Kemian saavutuksia**
- **Vastuullinen toiminta**
- **Kemikaaliturvallisuus**

Aspiriinin tarina
Jo muinaisen Egyptin ajoilta löytyy maininta valkopajun kuoren käytöstä kuumeen hoidossa. Myös lääketieteen isä Hippokrates tunsi pajunkuoren käytön.

1800-luvun puolivälissä pajunkuoresta onnistuttiin eristämään vaikuttava aine salisyylihappo, jolla on kuumetta alentava ja kipua lievittävä vaikutus.

Saksalaisen Bayer-lääketehtaan kemistit kehittivät salisyylihaposta vähemmän vatsaa ärsyttävän muodon: asetyylisalisyylihapon. Bayer sai lääkkeelle patentin 1899 ja alkoi myydä tuotetta nimellä Aspirin®.

Perhosen siiven pinnan rakenne sekä kyky heijastaa valoa ja hylkiä kosteutta on auttanut kemistejä suunnittelemaan uusia materiaaleja.

Kemikaalit ja me

Elävien organismien soluissa tapahtuu kemiallisia reaktioita, esimerkiksi kasvin yhteyttäminen, jossa vedestä ja hiilidioksidista syntyy happea ja sokeria. Kehomme valmistaa soluissamme jatkuvasti erilaisia monimutkaisia kemikaaleja. Kaikki tämä tapahtuu vesiliuoksissa ja ilmasta saamamme happikaasun vaikutuksesta. Syömämme ruokakin muuttuu energiaksi ja jätteiksi kemiallisilla reaktioilla. Tarvitsemme siis kemikaaleja säilyäksemme hengissä.

Ihmisellä on opittuja keinoja puolustaa itseään luonnon taistelussa. Monet eläimet ja kasvit sen sijaan käyvät kemiallista sodankäyntiä säilyäkseen itse hengissä tai tappaakseen saaliin ruoaksi. Vähemmän vakavia seurauksia on meistä jokainen kokenut, kun nokkonen tai muurahainen on polttanut ihoamme. Poltteen aiheuttaa orgaaninen happo, metaanihappo, jonka kansanomainen nimi on muurahaishappo. Luontoa jäljittelemällä ja sattumien kautta ihminen on oppinut hyödyntämään etikkaa, suolaa ja sokeria ruuan säilömisessä.

Ihminen on oppinut jalostamaan ja hyödyntämään luonnosta myös myrkyllisiä aineita. Lähes kaikki käyttämämme lääkeaineetkin on alun perin löydetty luonnosta. Niitä voidaan käyttää sellaisenaan tai muokkaamalla niistä lääkinnällisesti tehokkaampia, mutta vähemmän vaarallisia molekyylejä.

? Pohdi

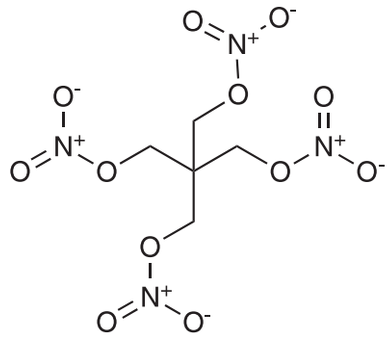
Mikä on myrkky ja mitä oikeastaan tarkoittaa myrkyllisyys?

Kemian saavutuksia

Varhaisimpia kemiallisia reaktioita ja prosesseja ovat olleet metallien jalostaminen malmikivestä sekä saviastioiden valmistaminen. Jo tuhansia vuosia sitten ihminen oppi myös valmistamaan olutta ja viiniä käymisteitse sekä tislaamaan erilaisia öljyjä ja tuoksuaineita kasvimateriaalista lääkinnällisiin tarkoituksiin. Pian seurasivat monimutkaisemmat nahan ja kasvikuitujen käsittely sekä lasin, ruudin ja saippuan valmistus.

Kemikaaleja valmistettiin alkuun kotitarpeiksi. Kaupungistuminen loi tarpeen suurempaan tuotantoon, ja syntyi erikoistuneita ammattikuntia. Ensimmäisenä tuli tarve valmistaa vaatteita teollisesti, mikä synnytti nykyisen kemianteollisuutemme pohjan. Teollistuminen, liikenteen kehittyminen ja sodankäynti loivat lisää tarvetta kemianteollisuuden kehitykselle. Samanaikaisesti kemia tieteenä kehittyi valtavin harppauksin. Noin sadan vuoden jakso 1800-luvun puolivälistä alkaen oli kemian kulta-aikaa. Silloin kemia kehittyi muodolliseksi tieteeksi ja luotiin pohja nykyiselle kemiallis-tekniselle maailmankuvallemme.

Tänä päivänä kemianteollisuuden tuotteet ovat olennainen osa jokapäiväistä elämäämme eikä nyky-yhteiskunta pysty toimimaan ilman niitä. Koneet ja laitteet valmistetaan joko metalleista tai uusista polymeeripohjaisista materiaaleista. Energiantuotantomme perustuu kemian keksintöihin. Moni kemianteollisuuden haara käyttää maaöljyn jalostustuotteita energian lisäksi raaka-aineina. Käytämme puuta lämmittämiseen, rakentamiseen ja paperinvalmistukseen, mutta myös siitä saatavat kemialliset yhdisteet ovat monimutkaisempien tuotteiden raaka-aineita. Nykymittainen ruuantuotanto ei olisi mahdollista ilman kemian keksintöjä: lannoitteita, kasvinsuojelu- ja tuholaistorjunta-aineita. Kasvinjalostuskin käyttää kemikaaleja parempien viljelyskasvien kehitystyössä. Rakentamisessa turvaudumme kemiaan: sementit, maalit ja monet muovituotteet ovat kemiallisen kehityksen tuotteita. Lääkintää ja terveydenhuoltoa ei olisi ilman kemikaaleja ja kemian keksintöjä.



Voltan parista aurinkokennoihin

Italialainen **Alessandro Volta** valmisti ensimmäisen sähköparin yhdistämällä vuonna 1800 sinkki- ja hopealevyjä. Näin oli syntynyt ensimmäinen paristo.
Elektronin löytyminen mahdollisti puolijohteiden kehityksen.
Sana puolijohde mainitaan ensimmäisen kerran 1910.
Tänä päivänä puolimetalleihin perustuvia puolijohteita löytyy niin LEDeistä, tietokoneista kuin aurinkokennoistakin.

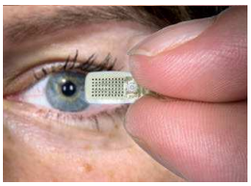
NH_3 ja AIV

Fritz Haber kehitti 1900-luvun alussa reaktion, jolla ilman typpi muutetaan ammoniakiksi, mistä voitiin valmistaa räjähdysaineita Saksan armeijalle.
Carl Bosch kehitti keksinnön teolliseksi prosessiksi 1913. Nykyisin tätä Haber-Bosch-menetelmällä valmistettua ammoniakkia käytetään lähinnä nailonin ja lannoitteiden valmistukseen.
Teknillisen korkeakoulun professori **Artturi Virtanen** patentoi 1932 AIV-liuoksen, jotta heinän säilyvyys kasvaisi ja lehmien maidontuotanto ei vähenisi talvella. Nykyisin lähes kaikki heinärehu säilötään tällä AIV-liuoksella.
Kaikki kolme kemistiä ovat saaneet keksinnöstään Nobelin palkinnon.

Nobel ja lääketeollisuus

Alfred Nobel patentoi dynamiitin 1867, ja räjäytykset kaivoksissa ja tienrakentamisessa muuttuivat turvallisemmiksi.
Dynamiitin sukulainen pentaerytritoli-tetranitraatti PETN on yksi voimakkaimmista räjähdysaineista. Sitä käytetään räjäytystöiden lisäksi sydänsairauksien hoitoon.

? Pohdi



Valokovettuvat hammaspaikat ovat korvanneet elohopeapohjaisen amalgaamin lähes kokonaan (vas.). Tutkijat ovat onnistuneet valmistamaan keinotekoisia verkkokalvoja, joissa orgaaniseen valoa johtavaan polymeeriin on seostettu joukko mikroelektrodeja (oik.). Näin on onnistuttu palauttamaan sokeille ihmisille näkökykyä.

NANOPARTIKKELIT

Vesipisara ei tartu nanopinnoitettuun kankaaseen.

Nanopartrikkeleilla on hyvin suuri pinta-ala suhteessa niiden tilavuuteen, ja niinpä niiden pinnalle voidaan pakata pieneen tilaan paljon esimerkiksi muita molekyylejä. Ne ovat yleistymässä monilla tekniikan, luonnontieteen ja lääketieteen aloilla, ja erityisesti inertin kullan pinnalle on kehitetty useita sovelluksia. Jo vuonna 1857 **Faraday** teki ensimmäiset kolloidiset kultananopartikkelit pelkistämällä kultakloridia fosforilla.

Selvitä jonkun kemiallisen tuotteen historia. Mitä hyötyjä ja haittoja tuotteesta ja sen valmistuksesta on? Miten paljon sen valmistus on muuttunut vuosien aikana?

Tulevaisuuden tuotteita jo tänään käytössä

Uusien kemikaalien kehitys on siirtynyt suurista tonneittain mitattavista tuotteista sekä teknisesti että kemiallisesti vaativampien tuotteiden kehitykseen. Pelkkä tuotteen paremmuus edeltäjiinsä tai suuri innovatiivisuus ei enää takaa sen markkinoille pääsyä. Tämän päivän uusien kemikaalien tulee täyttää hyvin tarkat kemikaaliturvallisuuden laatuvaatimukset, eikä niiden elinkaari saa kuormittaa ympäristöä kohtuuttomasti.

Palovammapotilaat ja proteesien käyttäjät tarvitsevat ihosiirrännäisiä. Keinoiho perustuu joko puolijohteita sisältäviin polymeereihin tai kollageeniproteiinista kasvatettuun uuteen ihoon. Tutkijat ovat onnistuneet valmistamaan ihoa jopa hämähäkinseitistä hyvin ohuen metalliverkon pinnalle. Tämä on esimerkki uudesta materiaalista, joka soveltuu käytettäväksi biologisessa ympäristössä ilman haittavaikutuksia. Toisaalta uudet materiaalit voidaan kehittää korvaamaan puhtaita metalleja keveytensä, kestävyytensä tai parempien ominaisuuksiensa vuoksi. Hyvä esimerkki on neodyymimagneetti, joka on neodyymista, raudasta ja boorista valmistettu voimakkain tunnettu kestomagneetti.

Nanotiede on tutkimuksen haara, joka hyödyntää nanoluokassa (10^{-9} m) tapahtuvia muutoksia aineen fysikaalisissa ja kemiallisissa ominaisuuksissa tai rakenteita, jotka ovat kooltaan nanometrien suuruisia. Ala on hyvin laajan tutkimuksen kohteena myös kemiassa.

✔ Osaatko?

Suunnittele uusi ennennäkemätön tuote, joka perustuu johonkin kemialliseen ilmiöön. Muista ottaa suunnittelussa huomioon terveys- ja ympäristönäkökohdat.

Vastuullinen toiminta

DDT
DDT:tä käytettiin toisen maailmansodan aikana estämään malarian leviäminen Yhdysvaltain Tyynenmeren joukoissa. Sitä käytettiin sodan jälkeen myös laajasti kotitalouksissa ja viljelyksillä tuhohyönteisten torjuntaan. DDT:n käyttö on kiellettyä suurimmassa osaa maailmaa, koska se aiheuttaa epämuodostumia selkärankaisissa.

Kemiallinen sodankäynti

Ensimmäinen laajamittainen kemiallinen taistelu käytiin Ypresissä Belgiassa 22. huhtikuuta 1915. Useiden kaasujen, mukaan lukien sinappikaasun ja kloorin, käyttö johtivat 90 000 kaatuneeseen. Vaikka kemiallinen sodankäynti kiellettiin Geneven sopimuksella 1928, tehtiin vielä 1995 Tokiossa terrorihyökkäys sariinilla. Kemiallisten aseiden kieltojärjestö OPCW on kansainvälinen järjestö, joka valvoo ja pyrkii estämään kemiallisten aseiden käytön. OPCW:n analyysilaboratorio VERIFIN toimii Helsingin yliopistolla.

Vain hyvin harva kemikaali on vaarallinen, jos sitä käytetään oikein. Suurimmat riskit eliöiden terveydelle ja ympäristölle aiheuttaa kemikaalien väärinkäyttö. Kemian maine saastuttajana ja myrkytyksien aiheuttajana johtuu pitkälti siitä, että ei joko ole tunnettu tarpeeksi hyvin aineiden välittömiä, välillisiä tai pitkäaikaisvaikutuksia tai ei ole osattu kemiaa riittävän hyvin. Kemian tietämyksen kasvun myötä myös turvallisuuden sekä vastuullisen toiminnan vaatimustaso on kasvanut. Vanhoja kemikaaleja on poistettu käytöstä niiden haittavaikutusten vuoksi ja uusien kemikaalien markkinoille pääsy on hyvin säädeltyä. Valvonta ja säätely ulottuvat aina yliopistoissa ja tutkimuslaitoksissa tehtävään pienen mittakaavan tutkimukseen asti. Kemikaaliturvallisuus ja ympäristöasiat kuuluvat kaikkien kemian alan opintoasteiden pakollisiin opintoihin. Luonnollisesti kaikissa kaupallisen tuotannon vaiheissa nämä asiat pitää suunnitella, dokumentoida ja antaa valvontaviranomaisen tarkastettavaksi.

Kemikaalien vastuullinen käyttö kuuluu jokaisen kansalaisen velvollisuuksiin, ja siksi on hyvin tärkeää oppia tuntemaan erilaisten kemiallisten aineiden ominaisuudet ja käyttäytyminen. Riittävä kemiantuntemus on yleissivistystä. Kemikaalien väärinkäyttö on kaikkien kansainvälisten lakien mukaan rikollista ja rangaistavaa toimintaa.

Kemikaaliturvallisuus

Kemikaalipakkauksissa tulee olla asianmukaiset merkinnät tuotteen sisältämistä kemikaaleista ja niiden haitoista. Kemikaaliturvallisuudesta on sovittu kansainvälisesti YK:n alaisella GHS-järjestelmällä (**G**lobally **H**armonized **S**ystem of Classification and Labelling of Chemicals). Tähän perustuu CLP-asetus aineiden merkitsemisestä (**C**lassification, **L**abelling and **P**ackaging of substances and mixtures). Asetus astui voimaan kaikissa EU-maissa tammikuussa 2009, ja sillä on saatettu voimaan REACH-säätely (**R**egistration, **E**valuation, **A**uthorisation and Restriction of **Ch**emicals). Näiden säädösten noudattamista seuraa Helsingissä päämajaa pitävä Euroopan kemikaalivirasto ECHA. Eri maiden lainsäädäntöön on kirjattu sopimusten sisältöjä kansalaisia ja yrityksiä velvoittaviksi kohdiksi.

? Pohdi

Miten voit omalla toiminnallasi vaikuttaa kemikaalien turvallisuuteen? Onko olemassa turhia kemikaaleja?

20 Kemian merkitys

Lääkäri
Matti opiskeli kemian diplomi-insinööriksi pääaineenaan orgaaninen kemia. Hänen diplomityönsä aihe oli uusien leimausmolekyylien suunnittelu ja synteesi solukuvantamiseen. Matti keksikin uuden aineen tähän tarkoitukseen ja päätti opiskella lääkäriksi. Nyt Matti on arvostettu solubiologian tutkija.

Sijoitusneuvoja
Chris teki kandityönsä orgaanisesta kemiasta, antibioottipeptidien synteesistä. Työn aikana hän innostui biokemiasta niin paljon, että teki väitöskirjan immuunijärjestelmän kemiasta. Nyt Chris työskentelee Lontoon Cityssä sijoitusneuvojana.

Ammatit

Kemianteollisuudella on merkittävä osuus Suomen taloudelle. Kemianteollisuuden liikevaihto on 23 miljardia euroa, ja se vastaa 21 % teollisuustuotannosta ja 23 % viennin arvosta. Kemianteollisuus työllistää Suomessa suoraan kaikkiaan noin 34 000 ja Euroopassa 1,2 miljoonaa työntekijää.

Kemiaa tarvitaan muillakin aloilla kuin kemianteollisuudessa. Kemian osaamisen tarve on ilmiselvää esimerkiksi kemistin, kemisti-insinöörin tai laborantin ammateissa. Myös lääkärin, farmaseutin, sairaanhoitajan ja ravitsemustieteen ammateissa tarvitaan hyvää kemian osaamista. Biologian, maa- ja metsätalouden, elintarvikealan, tekniikan ja kosmetologian aloilla kemian perusteiden osaaminen on tärkeää ja kuuluu usein osaksi alan perusopintoja. Korkeakouluopiskelijoista noin 40 %:lta edellytetään lukion kemian syventävien kurssien oppimäärän hallintaa.

✔ Osaatko?

Selvitä, mitä tarkoittavat termit
- luonnollinen aine
- luonnollisen kaltainen aine
- happamuudensäätäjä
- paakkuuntumisen estoaine.

Anna yksi esimerkki jokaisesta.
Mikä on valitsemasi aineen E-koodi?

Tiedätkö, mitä aamiaisjugurttisi sisältää?

Etsi sanomalehdistä tai verkosta kemian alan työpaikkailmoituksia. Millaisia ominaisuuksia ja osaamisia hakijoilta edellytetään?

Yleissivistys

Kemikaaleja tarvitaan tuottamaan lämpöä ja energiaa. Tavarat ja vaatteet valmistetaan kemikaaleista. Monet ympäristössämme havaitsemamme muutokset – esimerkiksi lehtien värin vaihtuminen ja kukan kasvaminen – johtuvat itse asiassa kemiallisista reaktioista.

Kemian perustiedot ovat tärkeä osa nykypäivän yleissivistystä. Lähes päivittäin luemme kaupassa tuoteselosteita, joissa kerrotaan, kuinka paljon eri ravintoaineita elintarvikkeessa on, mitä lisä- tai väriaineita ne sisältävät, mikä tuotteen suolapitoisuus on jne. Olet varmaan kuullut elintarvikkeiden E-koodeista, joilla kerrotaan, mitä lisäaineita tuote sisältää. Osa näistä E-aineista on täysin luontaisia osia monissa kasveissa tai eläimissä, osa synteettisiä. Onkin hyvä tietää, millaisia vaikutuksia näillä aineilla oikeasti on.

Rakennusinsinööri
Mari halusi estenomiksi, koska siinä voisi yhdistää kemian ja kaupallisen alan opintoja. Hän aikoi perustaa oman kauneushoitolan. Hän haki ja pääsi myös rakennusinsinöörilinjalle. Nykyisin Mari työskentelee ympäristösertifioinneista vastaavana suunnitteluinsinöörinä kaupunkisuunnittelupalveluita tarjoavassa konsulttiyrityksessä.

Kemisti
Anna valmistui filosofian kandidaatiksi pääaineenaan hydrologia. Hän tutki kesätyönään Itämeren vesistöjen kuntoa. Anna jatkoi maisteriopintojaan myös kemian laitoksella. Nykyisin hän on Suomen ympäristökeskuksessa päällikkönä. Hän johtaa ryhmää, jossa on biologeja, geologeja, kemistejä ja kemisti-insinöörejä.

Ohjaus ja valvonta

Teollisuuden lisäksi erilaiset viranomaiset sekä tuotekehitys- ja tutkimuslaitokset työllistävät kemian osaajia. Ympäristöntutkimuksessa ilman ja vesien laatua tarkkaillaan kemiallisen analyysin menetelmillä. Kaikki elollinen toiminta tuottaa ja käyttää kemikaaleja, ja niistä osa aina palautuu luontoon. Viime vuosina on havahduttu siihen, että jo pelkästään ekosysteemin koostumuksen muutoksella on vaikutusta ekosysteemin toimintaan, ja siksi pyritään ymmärtämään paremmin kemikaalien vaikutusta luontoon. Erilaiset virastot ja laitokset tarvitsevat ammattitaitoisia kemian osaajia ohjaamaan yhteiskunnallisia päätöksiä. Euroopan kemikaalivirasto on maanosamme kemikaaliturvallisuudesta vastaava sääntelyviranomainen, jonka päätoimipaikka on Helsingissä.

Kemistin on oltava moniosaaja

Kuten edellä olevissa kappaleissa huomasit, kemia on vahvasti kokeellinen luonnontiede. Kemiaa voidaankin kuvata alana, jossa pitää olla arkkitehdin suunnittelutaito, rakennusinsinöörin laskutaito ja rakennusmiehen kädentaidot. Hyväkin idea toteutuu vasta, kun nämä kaikki osaamisen alueet ovat tasapainossa. Kemistiä tarvitaan edelleenkin laboratoriossa, mutta enenevässä määrin suunnittelutyön ja tiedonhaun voi tehdä verkossa, ja usein jopa laboratoriotoimintoja voidaan jo nyt ohjata ja valvoa verkon kautta.

Maailma kuitenkin muuttuu niin, että on tärkeätä osata toimia yhteistyössä muiden alojen osaajien kanssa. Siinä missä kemistin on hyvä osata lääkärin tai vaikkapa mainosmiehen kieltä, on näiden yhteistyökumppanien hyvä ymmärtää ainakin kemian peruskäsitteet.

? Pohdi

Tutustu eri ammatteihin. Selvitä, kuinka paljon kemiaa niissä tarvitaan.

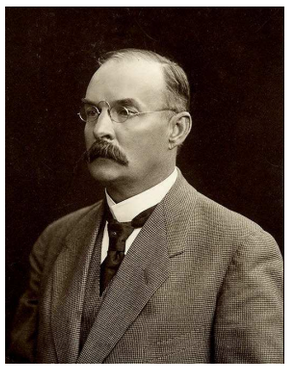
Kemistejä ennen ja nyt

Kemian tiedot kaunistavat ja hauskuuttavat nuoruuttamme, ne tekevät kunnialliseksi ja hyödylliseksi vanhuutemme ja opettavat oikein tuntemaan ja käyttämään maan antimet ja edut meidän ja läheistemme hyödyksi.

Pehr Gadd

Suomen ensimmäinen kemian professori oli **Pehr Adrian Gadd** (1727–1797). Hän työskenteli Turun kuninkaallisessa akatemiassa vuodesta 1761. Gadd tutki ja opetti metallurgian ja maanviljelyn kemiaa. Varsinainen kemian tutkimus Suomessa lähti nousuun 1800-luvun lopulla, kun varsinkin luonnonaineiden kemian tutkimus sai merkittävää huomiota osakseen. Helsingin yliopiston professori **Adolf Ossian Aschan** (1860–1939) ja Teknillisen korkeakoulun professori **Gustav Komppa** (1867–1949) olivat maailmallakin hyvin tunnettuja ja arvostettuja kemistejä, erityisesti terpeenikemian alalla. Gustaf Komppa suoritti ensimmäisenä maailmassa kamferin kokonaissynteesin vuonna 1903, mitä pidetään synteettisen luonnonainekemian alkuna. Komppa oli myös arvostettu teollisuusmies, ja hänellä olikin merkittävä panos usean suomalaisen kemian alan yrityksen synnyssä. Niihin lukeutuivat muun muassa Orionin lääketehdas, Valtion Ruutitehdas Vihtavuoressa ja Suomen Gummitehdas Nokialla. Jälkimmäisestä syntyi monien vaiheiden jälkeen Nokia-konserni.

Kirkkain tähti Suomen kemiassa on kuitenkin ollut **Artturi Ilmari Virtanen** (1895–1973), joka toimi Teknillisen korkeakoulun biokemian professorina 1931–1939 ja Helsingin yliopiston vastaavassa virassa vuosina 1939–1948. Virtanen sai kemian Nobel-palkinnon vuonna 1945 maatalouskemian tutkimuksistaan.



Adolf Ossian Aschan

Gustaf Komppa ja hänen poikansa, insinööri O. Komppa (oik.)

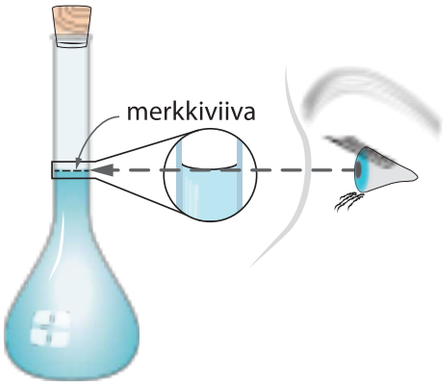
Artturi I Virtanen

✔ Osaatko?

Haastattele jotain tuntemaasi kemistiä tai ota selvää kemian alan ammattilaista. Miten hänestä tuli kemisti? Voit käyttää selvityksessäsi apuna Suomen Kemianteollisuus ry:n sivustoja: http://www.kemianteollisuus.fi/.

NaCl (aq)
20 m-%
PMK 31.1.2016

Mallietiketti



Mittapullo on oikein täytetty, kun liuoksen pinnan alareuna on merkkiviivan kohdalla.

Liuoksen valmistaminen mittapulloon

1. Laske tarvittavat aineiden määrät.
2. Punnitse kiinteä aine tai mittaa nesteet mittapipetillä tarkasti.
3. Laita edellä punnittu tai mitattu aine mittapulloon.
4. Täytä mittapullo puolilleen liuotinta ja liuota mitattu aine liuottimeen.
5. Kun kaikki mitattu aine on liuennut, täytä mittapullo tarkasti merkkiviivaan asti (lopputäyttö pipetillä).
6. Sulje pullo tulpalla ja sekoita liuos kääntämällä pulloa muutaman kerran ylösalaisin. (Tue korkkia sormella!)
7. Tee mittapulloon merkinnät: aineen nimi/lyhenne, liuotin, pitoisuus, tekijän nimikirjaimet ja valmistuspäivämäärä.
8. Siirrä pitkään säilytettävät liuokset samoin merkittyyn varastopulloon.

Ole tarkka mittapullon täyttämisessä. Koska mittapullosta ei saa ottaa yli mennyttä nestettä pois, kannattaa täytön viimeiset pisarat lisätä varovasti pipetillä tippa kerrallaan.

Mittapullon pitää olla pöydällä, kun täytät sitä. Katso pulloa aina merkkiviivan tasalta.

Laboratoriopäiväkirja

Yliopistoissa ja teollisuuden tutkimusosastoilla kokeiden kaikki vaiheet kirjataan laboratoriopäiväkirjaan. Näiden dokumenttien jokainen merkintä on jäljitettävissä tekijään ja ajankohtaan, milloin merkintä on tehty ja mihin työhön tai työvaiheeseen se liittyy. Tutkimustuloksista laaditaan dokumenttien perusteella tieteellisiä julkaisuja tai kaupallisia patentteja, jotka antavat työn julkaisijalle käyttö- ja hyödyntämisoikeuden.

Työselostus

Työselostus on kuvaus tehdystä työstä ja saaduista tuloksista sekä katsaus kokeelliseen työhön liittyvästä ilmiöstä tai teoriasta. Se laaditaan niin tarkaksi, että saman taitotason omaava riippumaton henkilö pystyy suorittamaan samat kokeet ja mittaukset.

Hyvä työselostus sisältää:

- Tekijän nimen ja päivämäärän
- Johdannon
- Työmenetelmät
- Tulokset
- Tulosten tarkastelun
- Lähdeluettelon

KÄSITTEET

Absorboida (*absorb*) eli imeä itseensä. Tässä kirjassa elektroni absorboi energiaa ja virittyy (ks. virittyä).

Adheesio (*adhesion*) on voimavaikutus nesteen ja pinnan välillä (tässä kirjassa).

Alkeiskoppi (*unit cell*) on kiteisen aineen pienin säännöllisen muodon omaava geometrinen yksikkö, joka monistuu kiteen kasvaessa ja muodostaa kidehilan (ks. hila).

Alkuaine (*element*) Samaa alkuainetta ovat kaikki ne atomit, joiden ytimessä on sama määrä protoneja.

A**llotrooppi (*allotrope*)** on saman aineen eri esiintymismuoto.

Amorfisella (*amorphic*) aineella ei ole säännöllistä kidehilaa eikä tarkkaa sulamispistettä (ks. hila).

Anioni (*anion*) on negatiivisesti varautunut ioni.

Atomi (*atom*) on alkuaineen pienin jakamaton yksikkö. Atomin muodostavat ydin, jossa on protoneja ja neutroneja, sekä sitä ympäröivä elektroniverho.

Atomisäde (*atomic radius*) on pallomaiseksi ajatellun atomin säde. Atomisäde saadaan laskettua kahden ytimen välisestä etäisyydestä.

Biomassa (*biomass*) Kaikki eloperäinen materiaali on biomassaa.

Diffuusio (*diffusion*) on lämpöliikkeen mukana tapahtuvaa etenemistä.

Dipoli (*dipole*) muodostuu, kun poolisiin molekyyleihin muodostuu epätasainen elektronijakauma (ks. poolinen).

Dipoli-dipolisidos (*dipole dipole bond*) syntyy, kun kahden pysyvän dipolimolekyylin välille muodostuu sähköinen vuorovaikutus.

Dispersio (*dispersion*) on heterogeeninen seos, jossa jokin seoksen aineista on niin hienojakoisessa muodossa sekoittuneena toiseen komponenttiin, että niiden eroa ei voi nähdä paljaalla silmällä. Dispersioita ovat esimerkiksi vaahto, emulsio ja suspensio.

Dispersiovoima (*London dispersion force*) on poolittomien atomien tai molekyylien välissä esiintyvä hyvin heikko sähköinen vetovoima, myös Londonvoima tai Van der Waals-voima (ks. pooliton).

Elektroniaffiniteetti (*electron affinity*) on se energiamäärä (kJ/mol), joka vapautuu, kun kaasutilassa olevaan atomiin tai ioniin liittyy yksi elektroni (vrt. ionisoitumisenergia).

Elektronegatiivisuus (*electronegativity*) kuvaa kemiallisesti sitoutuneen atomin kykyä vetää puoleensa sidoselektroneja kovalenttisessa sidoksessa.

Emittoituminen, emissio (*emission*) Virittynyt elektroni luovuttaa absorboimansa energian palatessaan alemmalle energiatasolle (ks. virittyminen).

Emulgointiaine (*emulsifier*) sitoo heterogeenisen seoksen faaseja yhteen. Esimerkiksi lesitiini sitoo öljyn ja veden majoneesissa.

Faasi (*phase*) on olomuotoalue. Esimerkiksi hiekan ja veden seoksessa on kaksi faasia.

Fluoresenssilla (*fluorescence*) tarkoitetaan joidenkin materiaalien kykyä loistaa pimeässä, kun niitä valaistaan ihmissilmälle näkymättömällä UV-valolla.

Fosforesenssi (*phosphorescence*) on luminesenssia, jossa atomin viritystila purkautuu viiveellä jatkuen joskus jopa tunteja (ks. luminesenssi).

Fotosynteesi (*photosynthesis*) eli yhteyttäminen. Kasvit valmistavat happea ja glukoosia viherhiukkasissa auringon energian avulla.

Geelissä (*gel*) yksi heterogeenisen seoksen komponenteista on sitonut väliaineen kokonaan tai osittain sisälleen.

Hapettuminen (*oxidation*) on elektronien luovuttamista kemiallisessa reaktiossa.

Hapetusluku (*oxidation number*) ilmoittaa kuinka monta elektronia alkuaineen atomi on luovuttanut tai vastaanottanut joko kokonaan tai osittain yhdisteen muodostuessa.

Heterogeeninen (*heterogeneous*) eli sekakoosteinen seos on kahden tai useamman aineen seos, jossa on enemmän kuin yksi olomuotoalue eli faasi.

Hiilen kierto (*carbon cycle*) Maapallon hiili kiertää jatkuvasti nopeassa biokierrossa yhteyttämisen ja soluhengityksen kautta ja hitaassa geokierrossa maaperään sedimentoitumisen kautta. Miljoonia vuosia kestävä fossiilinen kierto on kolmas hiilen kierroista.

Hila (*crystal lattice*) on säännöllinen rakenne, jossa atomit ovat pakkautuneet tarkkaan muotoon hyvin lähelle toisiaan.

Homogeeninen (*homogeneous*) eli tasakoosteinen seos on kahden tai useamman aineen seos, jossa on vain yksi olomuotoalue eli faasi.

Homogenointi (*homogenization*) on heterogeenisen seoksen yhden komponentin hajottaminen kolloidisiksi pisaroiksi (ks. kolloidinen seos).

Hydraatio eli hydratoituminen (*hydration*) on aineen reaktiota veden kanssa ilman että aineen kemiallinen rakenne muuttuu, esimerkiksi aineen liukeneminen veteen (vrt. solvaatio).

Hydrofobinen (*hydrophobic*) on vettä hylkivä eli vesipakoinen. Vastakohta **hydrofiilinen (*hydrophilic*)** eli vesihakuinen.

Intermolekulaarinen sidos (*intermolecular*) on molekyylien välinen sidos.

Intramolekulaarinen sidos (*intramolecular*) on molekyylin sisäinen sidos.

Ioni-dipolisidos (*ion dipole bond*) on sidos, joka muodostuu ionin ja dipolimolekyylin välille (ks. dipoli).

Ionisidos (*ionic bond*) on kationin ja anionin välinen vahva sähköinen vuorovaikutus, kemiallinen sidos (ks. anioni ja kationi).

Ionisoitumisenergia (joskus myös ionisaatioenergia) **(*ionization energy*)** kuvaa sitä energiamäärää (kJ/mol), joka tarvitaan irrottamaan elektroni kaasumaisesta alkuaineatomista (vrt. elektroniaffiniteetti).

Ioniyhdiste (*ionic compound*) on vastakkaismerkkisten ionien muodostama kemiallinen yhdiste, suomeksi suola.

Isotooppeja (*isotope*) ovat kaikki samaa alkuainetta olevat atomit, joiden ytimessä on eri määrä neutroneja.

Jakso (*row*) Jaksollisen järjestelmän vaakarivejä kutsutaan jaksoiksi.

Kapillaari (*capillary*) on ohut putki, johon neste nousee koheesion voimasta (ks. koheesio).

Kationi (*cation*) on positiivisesti varautunut ioni.

Kemikaali (*chemical*) Kemikaaleja ovat kaikki alkuaineet, yhdisteet ja niistä muodostetut liuokset ja seokset. Kemikaaleja voidaan joko eristää luonnosta tai valmistaa teollisesti.

Kidevesi (*lattice water*) Kiteisessä aineessa kiteen alkeiskopissa mukana olevat vesimolekyylit ovat kidevettä (ks. alkeiskoppi).

Koheesio (*cohesion*) on vesipisaraa koossa pitävä voima (tässä kirjassa).

Kolloidinen seos (*colloidal mixture*) on heterogeeninen seos, jossa yhden komponentin kappalekoko on alle 0,1 μm.

Kovalenttinen (*covalent*) sidos on yhden tai useamman jaetun elektroniparin muodostama vahva sidos.

Kvantittuminen (*quantized*) Energia on sijoittunut epäjatkuvasti erillisille energiatasoille.

Kylläinen liuos (*saturated solution*) on liuos, johon ei voi enää liuottaa samaa ainetta samoissa olosuhteissa enempää.

LED on lyhenne englannin kielen sanoista Light-Emitting Diode. Se on puolijohdekomponentti, joka säteilee valoa, kun sen läpi johdetaan sähkövirtaa.

Lejeerinki (*alloy*) on kahden tai useamman metallin muodostama homogeeninen seos.

Luminesenssi (*luminescence*) on ilmiö, jossa atomin viritystila purkautuu, ja elektroni palaa alemmalle energiatasolle vapauttaen ylimääräisen energian valona. Esiintyy kemiluminesenssina tai bioluminesenssina.

Meniski (*meniscus*) on nestepinnan muoto kapillaari-ilmiössä (ks. kapillaari).

Metallisidos (*metallic bond*) muodostuu, kun positiivisten kationien joukko jakaa niiden välissä vapaasti liikkuvien negatiivisesti varattujen elektronien pilven.

Mineraali (*mineral*) eli kivennäinen. Luonnossa kiinteässä muodossa esiintyvät alkuaineet tai niiden yhdisteet.

Molekyyli (*molecule*) on kahden tai useamman atomin muodostama yhdiste, jossa atomien välillä on kovalenttinen sidos (ks. kovalenttinen).

Molekyylikaava (*molecular formula*) kertoo, mitä atomeja yhdisteessä on ja kuinka monta kappaletta kutakin atomilajia siinä on.

Oktetti (*octet*) Atomin uloimmalla kuorella on 8 elektronia.

Osittaisvaraus (*partial charge, net atomic charge*) muodostuu, kun yhteisen elektroniparin elektronit ovat siirtyneet lähemmäksi elektronegatiivisempaa alkuainetta. Näin se saa negatiivisen osittaisvarauksen δ^-. Vähemmän elektronegatiivinen alku aine saa positiivisen osittaisvarauksen δ^+.

Osmoosi (*osmosis*) on atomin, ionin tai molekyylin liikkumista puoliläpäisevän kalvon läpi konsentraatioerojen vallitessa (konsentraatio eli väkevyys).

Pelkistyminen (*reduction*) on elektronien vastaanottamista kemiallisessa reaktiossa.

Poolinen (*polar*) tarkoittaa sitä, että poolisessa sidoksessa on kaksi sähköistä napaa. Nämä muodostuvat, kun sidokseen indusoituu eli muodostuu osittaisvaraukset (ks. osittaisvaraus).

Pooliton (*nonpolar*) sidos ei sisällä osittaisvarauksia (ks. osittaisvaraus).

Pääkvanttiluku (***principal quantum number***) ilmoittaa atomin kuoren eli energiatason.

Rakennekaavasta (*structural formula*) ilmenee, miten yhdisteen atomit ovat sitoutuneet toisiinsa.

Ryhmä (*group*) Jaksollisen järjestelmän pystysarakkeita kutsutaan ryhmiksi. Ryhmät jaetaan pääryhmiin ja siirtymämetalleihin.

Solvaatio (*solvation, dissolution*) on aineen liukenemista liuottimeen (muu kuin vesi, vrt. hydraatio).

Suhteellinen atomimassa (*relative atomic mass*) lasketaan luonnossa esiintyvien isotooppien suhteellisilla osuuksilla painotettuna.

Valenssielektronit (*valence electrons*) ovat atomin uloimman kuoren elektroneja.

Vapaat elektroniparit (*free electron pairs*) ovat atomin omia elektronipareja, jotka eivät muodosta kovalenttista sidosta toisen atomin kanssa.

Vetysidos (*hydrogen bond*) on dipoli-dipolisidos, jossa toinen dipoleista muodostuu vetyatomista (ks. dipoli).

Viivakaava (*skeletal formula*) on orgaanisten yhdisteiden rakennekaava, jossa hiiliatomit ja niihin sitoutuneet vetyatomit jätetään kirjoittamatta.

Virittyä (*become excited*) Elektronit absorboivat energiaa ja siirtyvät alemmalta energiatasolta korkeammalle energiatasolle.

Viskositeetti (*viscosity*) kuvaa nesteen jäykkyyttä.

HAKEMISTO

adheesio 128
agaatti 100
alikuori 54
alkalimetalli 64
alkeiskoppi 100
alkuaine 9, 12, 22, 26
alkuainemolekyyli 96
alkuräjähdys 20
allotrooppi 101
aluminaatti 24
aminohappo 34
amorfinen 100
amorfinen aine 118
Anaximander 46
anioni 79
antrasiitti 35
Aristoteles 46, 135
Aschan 153
asetyylisalisyylihappo 147
atomi 5, 8, 9, 44, 46
atomikoko 69
atomimalli 46, 47, 48, 49
atomin rakenne 44
atomin virittyminen 52, 56
atomispektri 52
atomisymbolit 44
atomisäde 69
atomiydin 21, 22, 44

bauksiitti 27
Becher 46
biodiesel 37
bioetanoli 37
biokierto 38
bioluminesenssi 55
biomassa 36, 37
Bohr 48
Bohrin atomimalli 52
booriryhmä 64
Bosch 148

Dalton 47
deduktio 135
dekantointi 14
Demokritos 46
diffuusio 129
dipoli-dipolisidos 113, 114, 120
dipolimolekyyli 113, 120
dispergoitunut 13
dispersio 13
dispersiovoima 102, 112
DNA 35
Döbereiner 60

eksoterminen 15
elektrolyytti 84
elektronegatiivisuus 72, 95
elektroni 44, 47
elektroniaffiniteetti 71, 72
elektronikuori 53
elektronipari 92
elektronirakenne 78
elektroniverho 44
eloperäinen maalaji 25
elämän alkuaineet 32
endoterminen 15
energiamuutos 15
entsyymi 33
epämetalli 15, 92
epäorgaaninen ioni 84
erotusmenetelmä 14
etanoli 37
etikkahappo 33

faasi 12, 14
Faraday 149
flogisto 46
fluoresenssi 55
fosforesenssi 55
fossiilinen polttoaine 39
fotosynteesi 33
fullereeni 101, 106
fuusioreaktio 20
fysikaalinen ominaisuus 15
fysiologinen suolaliuos 130

Gadd 153
galvanointi 28
gekkolisko 115
geokierto 38
glukoosi 33
glykogeeni 33
glyseroli 122
gneissi 24
Goodyear 136
grafeeni 106
grafiitti 101, 106
grafiittirasva 101
graniitti 24

Haber 148
Haber-Bosch -menetelmä 148
halogeeniryhmä 65
hapettuminen 78
hapetusluku 68, 78
happimolekyyli 93
happiryhmä 65
happosade 39
hematiitti 27
heterogeeninen seos 12, 13
hetkellinen dipoli 112
hiilen kierto 38
hiili 32, 101
hiilidioksidi 38
hiilihydraatti 33
hiilihydraattipolymeeri
selluloosa 35
hiiliryhmä 65
hiiliyhdiste 32
hila 86
hilarakenne 88, 101
hilatyyppi 104
hivenaine 84
homogeeninen seos 12, 13, 16
homogenoitu 13
hydratoituminen 129
hydrofobinen 128
hydroksyyliryhmä 122
hygroskooppi 129
hypertoninen 130
hypotoninen 130
härmistys 14

ilmeniittimineraali 29
intermolekulaarinen 112
intramolekulaarinen 112
ioni 9, 78
ioni-dipolisidos 122
ionihila 103, 105
ionin varaus 9
ionisaatioenergia 70
ionisidos 80, 103, 104
ionisoituminen 52
ionisoitumisenergia 52, 70, 72, 74
ionisäde 69
ioniyhdiste 15, 81, 82, 103
isotoninen 130
isotooppi 22, 45

jakso 62
jaksollinen järjestelmä 22, 60,
61, 62, 66, 79
jalokaasu 65, 78
jodi 102
järjestysluku 44
jättiläishila 100
jää 126

kaasu 9, 15, 118
kaasukehä 21
kaasuseos 13
kaksoissidos 93
kallioperä 24
kalottimalli 8
kalsitoniini 130
kalsiumfluoridi 103
kapillaari-ilmiö 128
kasvihuoneilmiö 39
kasvihuonekaasu 39
kationi 78
kemiallinen aine 12
kemiallinen merkki 9
kemiallinen puhdistaminen 12
kemiallinen reaktio 9, 15, 80
kemiallinen seos 12
kemiallinen yhdiste 8,12, 15
kemianteollisuus 138, 148, 151
kemikaali 12
kemikaaliturvallisuus 150
kemiluminesenssi 55
Kepler 136
kide 100
kidehila 100
kiderakenne 86
kidevesi 104, 129
kiehumispiste 15, 118, 120, 121
kiinteä 9, 15, 118
kiinteä aine 100
kiteinen aine 86
kiteytys 14
kivennäinen 25
kivennäisaine 84
kivennäismaalaji 25
kivihiili 35
kivilaji 24, 25
kiviplaneetta 21
kloorimolekyyli 9
kloorivety 9, 95
kloorivetymolekyyli 93
klorofylli 33
koheesio 128
kolloidinen liuos 13
kolloidinen pisara 13
kolmoissidos 93
komponentti 13, 14
Komppa 153
koordinaatioluku 103
Kopernikus 136
korkeaenerginen partikkeli 22
kosminen säteily 22
kosminen taustasäteily 19
kosmogeeninen 22
kovalenttinen hila 100, 101
kovalenttinen sidos 72, 92,
93, 104
kromatografia 14
kromi 29
kupari 28
kuparikiisu 28
kuparisulfaatti 104
kvantittuminen 52
kvanttiluku 54
kvanttimekaniikka 49
kvartsi 100
kylläinen liuos 16

Lavoisier 47, 60
LCD-näyttö 115
lejeerinki 88
Leukippos 46
Libby 45
Light-Emitting Diode 56
liike-energia 9, 15
lipidi 35
liukeneminen 15, 129
liukoisuus 14, 16
liuos 12, 13, 16
logiikka 135
London 116
London-voimat 116
lootusefekti 128
luminesenssi 55
lyijy 29
lämmönjohtavuus 15
lämpöliike 113

maa-alkalimetalli 64
maailmankaikkeus 19
maakaasu 36
maankuori 24, 25
maaperä 24, 25
maaöljy 36
magnesiumoksidi 81
magnetiitti 27
malmi 26
mangaani 28
massa 16, 144
massaprosenttiosuus 16
massaspektrometri 49
mekaaninen erotusmenetelmä 14
Mendelejev 60, 61
meniski 128
merisuola 81
merkitsevä numero 145
metaani 95
metaanimolekyyli 93
metalli 66, 86, 87, 105
metallihila 86, 87, 88, 105
metalli-ioni 88
metalliluonne 86, 88
metalliseos 13, 88
metallisidos 87, 104
Meyer 60
mineraali 24, 25
molekyyli 9, 15, 92, 93
molekyylihila 102, 105, 106
molekyylikaava 8,93
moniatominen ioni 82
moreeni 25
Moseley 61
Moshin asteikko 30

Nakamura 57
nanopartikkeli 149
nanoputkirakenne 106
nanotiede 149
natriumkloridi 80, 103
neodyymimagneetti 149
neste 9, 15, 118
nestekerros 13
nestekidenäyttö 115
nestekiteet 115
neutriino 21
neutroni 21, 44
neutronitähti 21
Newlands 60
nikkeli 29
Nobel 148
nukleoni 21, 44
nukleosynteesi 21

Okkamin partaveitsi 137, 139
oksidi 82
oktetti 62, 78
olomuodon muutos 15, 118
olomuoto 9
olomuotoalue 12, 13
olomuotomerkintä 15
OPCW 150
orbitaali 54
orgaaninen yhdiste 32
osittaisvaraus 95, 113
osmoosi 130

pallotikkumalli 8
palorypälehappo 33
Pasteur 136
patina 78
Pauling 95
pelkistyminen 78
penta-erytritoli-tetranitraatti PETN 148
piidioksidi 24
pintajännitys 122, 127
planeettanebula 20
Platon 135, 137
pohjakolonni 14
polymeeri 33
polysakkaridi 33
poolinen 95, 96
poolinen neste 120
poolisuus 95, 105
pooliton 95, 96
Priestley 47
promille 16
protoni 44
puhdas aine 12, 15
punasolu 130
puoliintumisaika 45
puolijohde 148
puolijohdekomponentti 56
puoliläpäisevä kalvo 130
puolimetalli 15
pyriitti 25
pääkvanttiluku 53, 54
pääryhmä 62, 63

radiohiiliajoitus 45
rakennekaava 8, 94
rakennemalli 8
rapautuminen 104
rauta 27
rautaydin 21
REACH-säätely 150
rikki 102
rikkihappo 39
RNA 35
rubiini 29
ruokasuola 80, 103
rusinapullamalli 47
Rutherford 22, 48
rutiilimineraali 29

Scheele 47
Schrödinger 49
sedimentoitunut 13
sekakoosteinen seos 12
selluloosa 33
sentrifugointi 14
seos 12, 14
seta 115
sidoselektronipari 92
sidosenergia 119
siirtymämetalli 55, 62, 63, 65
silikaatti 24
silikageeli 129
sinkki 28
sivukvanttiluku 54
sokeri 122
solukalvo 35
solvaatio 129
soveltava teollisuus 8
spinkvanttiluku 54
sublimoituminen 14
suhteellinen atomimalli 49
sulaminen 118, 120
sulamispiste 15, 118, 119
sulfidi 82
sulfidimineraali 28
suodatus 14
suodatussuppilo 14
suojavarustus 142
suola 81, 122
suolo 15, 103, 106
supernova 21, 22
suspensio 13
suurpainenatriumlamppu 56
synteettinen atomi 22
sähkönjohtavuus 106

tasakoosteinen seos 12
teollinen prosessi 14
termogrammi 87
teräs 27
Thales 46
Thomson 47
tiheys 15
tikkumalli 8
tilavuus 144
tilavuusprosenttiosuus 16
timantti 100, 101
tislaus 14
titaani 29
titaanioksidi 29
turvallisuusvaruste 142
turve 37
tutkielma 140
typen kierto 34
typpihappo 39
typpimolekyyli 93
typpiryhmä 65
tyyppireaktio 138
työturvallisuus 142
tärkkelys 33

ulkoelektronirakenne 78
ultraviolettivalo 56
universumi 20
uusiutuva raaka-aine 36
uutto 14

valenssielektroni 92
valenssikuori 92
valkoinen led 56
van der Waalsin voima 116
vapaa elektronipari 94
veden kiehumispiste 127
veden tiheys 127
vesi 126, 127, 129
vesimolekyyli 96
vesiverho 16
vesiväri 13
vety 20, 45
vetyatomi 20
vetymolekyyli 9
vetysidos 114
viivaspektri 52
Virtanen 148, 153
viskositeetti 122
Volta 148
vulkanointi 136
ydinsynteesi 21
ytimen massa 21
ytimen transmutaatio 22
α-pineeni 33

VALOKUVAT

1 Kannen kuva Patrick Doherty / Getty Images
2 ylh. Elena Elisseeva / Mostphotos
2 kesk. Jose Antonio PeÃ‘as / Science Photo Library / MVphotos
2 alh. Custom Medical Stock Photo / Science Photo Library
3 ylh. Science Photo Library / MVphotos
3 kesk. Laguna Design / Science Photo Library
3 alh. tausta User_49921 / Mostphotos
5 tausta ja kesk. Zhanna Ocheret / Mostphotos
6 ylh. Elena Duvernay / Mostphotos
6 vas. Mikkel Juul Jensen / Science Photo Library / MVphotos
6 kesk. CandyBox Images / Mostphotos
7 ylh. Elena Elisseeva / Mostphotos
7 kesk. ylh. Vichaya Kiatying-Angsulee / Mostphotos
7 kesk. alh. Kate Smirnova / Mostphotos
7 alh. vas. Mrfotos / Mostphotos
7 alh. kesk. Aleksei Potov / Mostphotos
7 alh. oik. Science Photo Library / MVphotos
8 ylh. Wavebreakmedia / Mostphotos
8 kesk. ylh. Science Photo Library / MVphotos
9 kesk. Mehau Kulyk / Science Photo Library / MVphotos
11 ylh. oik. Mehau Kulyk / Science Photo Library / MVphotos
11 vas. User_58501 / Mostphotos
11 alh. oik. Christy Thompson / Mostphotos
12 ylh. Science Photo Library / MVphotos
12 kesk. Maksym Yemelyanov / Mostphotos
13 ylh. Trevor Clifford Photography / Science Photo Library / MVphotos
13 kesk Phanlop Boonsongsomnukool / Mostphotos
13 alh. Science Photo Library / MVphotos
14 ylh. Sheila Terry / Science Photo Library / MVphotos
14 alh. Matteis / Look at Sciences / Science Photo Library / MVphotos
15 vas. Luis Louro / Mostphotos
19 kesk. NASA / WMAP Science Team
20 kesk. NASA, ESA, Hubble Heritage Team (STScI / AURA)
22 vas. Science Photo Library / MVphotos
23 vas. Valery Gontar / Mostpohots
23 ylh. oik. Science Photo Library / MVphotos
23 alh. oik. Patrick Landmann / Science Photo Library / MVphotos
24 ylh. vas. Ari Koskinen
24 alh. vas. Science Photo Library / MVphotos
24 kesk. (1) Science Photo Library / MVphotos
24 kesk. (2) Trevor Clifford Photography / Science Photo Library / MVphotos
24 kesk. (3) Valery Gontar / Mostpohots
25 ylh. Ari Koskinen
25 kesk. Ismo Pekkarinen / Lehtikuva
25 alh. Taina Sohlman / Mostphotos
26 ylh. Maksym Dragunov / Mostphotos
27 ylh. Ari Koskinen
27 alh. Science Photo Library / MVphotos
28 ylh. Science Photo Library / MVphotos
28 kesk. ylh. Science Photo Library / MVphotos
28 kesk. alh. Josef Muellek / Digitalpress / Mostphotos
28 alh. Denis Eakin / Mostphotos
28 alh. Masterwilu / Mostphotos
29 ylh. Science Photo Library / MVphotos
29 kesk. Joan Coll / Mostphotos
29 alh. Radomir Tarasov / Mostphotos
30 alh. Martyn F. Chillmaid / Science Photo Library / MVphotos
31 ylh. oik. U.S. Department of Energy Genomic Science program, http://genomicscience.energy.gov (muokattu)
31 vas. Science Photo Library / MVphotos
31 alh. oik. US Geological Survey / Science Photo Library / MVphotos
32 ylh. vas. Johan Sagmo / Mostphotos
32 alh. vas. Science Photo Library / MVphotos
33 kesk. Duncan Smith / Science Photo Library / MVphotos
34 ylh. Science Photo Library / MVphotos
34 alh. Agata Pollak / Mostphotos
35 kesk. Science Photo Library / MVphotos
35 alh. Hywit Dimyadi / Mostphotos
36 ylh. Henrik Lehnerer / Mostphotos
37 ylh. Science Photo Library / MVphotos
37 kesk. Alexey Kudenko / RIA Novosti / MVphotos
37 alh. J. Sierpniowka / Mostphotos
38 kesk. U.S. Department of Energy Genomic Science program, http://genomicscience.energy.gov (muokattu)
39 ylh. karkozphoto / Mostphotos
39 kesk. Stephan Kerkhofs / Mostphotos
39 alh. Witthaya Phonsawat / Mostphotos
40 kesk. Science Photo Library / MVphotos
42 vas. alh. Science Picture Co / Science Photo Library / MVphotos
42 tausta Steve Horrell / Science Photo Library / MVphotos
43 ylh. Science Photo Library / MVphotos
43 vas. Michael Gilbert / Science Photo Library / MVphotos
45 alh. oik. Science Photo Library / MVphotos
46 ylh. vas. David Parker/Science Photo Library / MVphotos
46 alh. vas. Science Photo Library / MVphotos
47 ylh. Sheila Terry / Science Photo Library / MVphotos
47 kesk. Science Photo Library / MVphotos
47 alh. Jose Antonio PeÃ‘as / Science Photo Library / MVphotos
48 ylh. Prof. Peter Fowler / Science Photo Library / MVphotos
48 alh. Science Photo Library / MVphotos
48 oik. Science Photo Library / MVphotos
49 ylh. Francis Simon / American Institute of Physics / Science Photo Library / MVphotos
49 alh. Science Photo Library / MVphotos
51 kesk. vas. Jeff Daly, Visuals Unlimited / Science Photo Library / MVphotos
51 ylh. Science Photo Library / MVphotos
51 kesk. oik. Science Photo Library / MVphotos
52 ylh. Science Photo Library / MVphotos
52 alh. Science Photo Library / MVphotos
55 ylh. Science Photo Library / MVphotos
55 kesk. Sheila Terry / Science Photo Library / MVphotos
55 alh. Andrew Lambert Photography/ Science Photo Library / MVphotos
56 ylh. Science Photo Library / MVphotos
56 kesk. ArenaCreative / Mostphotos
56 alh. Mikhail Kokhanchikov / Mostphotos
57 ylh. Science Photo Library / MVphotos
57 (LED-valo) Anton Starikov / Mostphotos
57 (Nakamura) Randall Lamb, UCSB / Emilio Segre Visual Archives / American Institute of Physics / Science Photo Library / MVphotos
57 (hehkulamppu) Gopixa / Mostphotos
57 alh. vas. Anton Prado / Mostphotos
57 alh. oik. Hannu Viitanen / Mostphotos

58 ylh. Science Photo Library / MVphotos
58 alh. US Air Force / Micaiah Anthony / Science Photo Library / MVphotos
59 ylh. David Nunuk / Science Photo Library / MVphotos
59 kesk. vas. Rudolf Kucherov / Science Photo Library / Mvphotos
59 kesk. oik. Carol & Mike Werner / Science Photo Library / MVphotos
60 kesk. vas. Boris Klinchenko / Science Photo Library / Mvphotos
61 ylh. Anton Prado / Mostphotos
64 ylh. Martyn F. Chillmaid / Science Photo Library / MVphotos
64 kesk. Science Photo Library / MVphotos
64 vas. alh. Science Photo Library / MVphotos
64 oik. alh. Science Photo Library / MVphotos
65 ylh. Science Photo Library / MVphotos
65 (luusto) Sebastian Kaulitzki / Mostphotos
65 kesk. Science Photo Library / MVphotos
65 alh. Karin Hildebrand Lau / Mostphotos
67 ylh. oik. Andrew Lambert Photography/Science Photo Library / MVphotos
67 ylh. Andrew Brookes, National Physical Laboratory / Science Photo Library / MVphotos
67 kesk. vas. Science Photo Library / MVphotos
69 (litium) Science Photo Library / MVphotos
69 (natrium) Science Photo Library / MVphotos
69 (kalium) Science Photo Library / MVphotos
76 tausta Jozsef Demeter / Mostphotos
76 alh. vas. Jozsef Demeter / Mostphotos
77 ylh. Dariusz Majgier / Mostphotos
77 vas. Bloodua / Mostphotos
77 kesk. Andrew Lambert Photography / Science Photo Library
78 ylh. vas. Liane Harrold / Mostphotos
80 alh. vas. Andrew Lambert Photography / Science Photo Library
81 ylh. vas. Syda Productions / Mostphotos
81 alh. vas. Andrew Lambert Photography / Science Photo Library
83 alh. vas. Martyn F. Chillmaid / Science Photo Library
83 alh. kesk. oik. Gudellaphoto / Mostphotos
83 alh. kesk. vas. Science Photo Library / MVphotos
83 alh. oik. Andrew Lambert Photography / Science Photo Library
84 vas. Syda Productions / Mostphotos
85 ylh. Science Photo Library / MVphotos
85 kesk. oik. Science Photo Library / MVphotos
85 kesk. vas. Laguna Design / Science Photo Library
86 ylh. vas. Science Photo Library / MVphotos
86 kesk. Laguna Design / Science Photo Library
86 alh. vas. Mikkel Juul Jensen / Science Photo Library
86 alh. oik. Mikkel Juul Jensen / Science Photo Library
87 vas. ylh. Dan Burch / Mostphotos
87 vas. alh. Science Photo Library / MVphotos
87 kesk. vas. Martyn F. Chillmaid / Science Photo Library
87 kesk. oik. Mikkel Juul Jensen / Science Photo Library
88 ylh. European Space Agency / CNES-Arianespace / Optique Video du CSG, P. Baudon / Science Photo Library
88 alh. vas. Science Photo Library / MVphotos
88 alh. oik. Science Photo Library / MVphotos
89 ylh. vas. Science Photo Library / MVphotos
89 ylh. kesk. Andrew Lambert Photography / Science Photo Library
89 ylh. oik. Sebastian Kaulitzki / Science Photo Library / MVphotos
89 kesk. vas. Martyn F. Chillmaid / Science Photo Library
89 alh. vas. Science Photo Library / MVphotos
90 alh. vas. Science Photo Library / MVphotos
90 alh. kesk. Martyn F. Chillmaid / Science Photo Library
90 alh. oik. Science Photo Library / MVphotos
91 ylh. Andrew Lambert Photography / Science Photo Library
91 kesk. vas. Laguna Design / Science Photo Library
93 ylh. vas. Ismo Pekkarinen / Lehtikuva
93 kesk. vas. Science Photo Library / MVphotos
96 ylh. Cobalt88 / Mostphotos
97 kesk. vas. Science Photo Library / MVphotos
97 alh. vas. Science Photo Library / MVphotos
99 ylh. Andrew Lambert Photography / Science Photo Library
99 kesk. vas. Martyn F. Chillmaid / Science Photo Library
99 ylh. Jiri Vaclavek / Mostphotos
100 ylh. vas. Valery Gontar / Mostphotos
100 kesk. vas. (1) Marek Kosmal / Mostphotos
100 kesk. vas. (2) Jeff Daly / Visuals Unlimited, Inc. / Science Photo Library
100 alh. vas. Ashley Cooper, Visuals Unlimited / Science Photo Library
100 (ruokasuola) kesk. Carol & Mike Werner / Visuals Unlimited, Inc. / Science Photo Library
100 (timantti) kesk. Alfred Pasieka / Science Photo Library
100 (arseeni) kesk. oik. Laguna Design / Science Photo Library
100 alh. kesk. (1) David Parker / Science Photo Library
100 alh. kesk. (2) Custom Medical Stock Photo / Science Photo Library
100 alh. oik. Science Photo Library / MVphotos
101 ylh. Bill Cunningham / US Geological Survey / Science Photo Library
101 kesk. Science Photo Library / MVphotos
102 ylh. vas. (1) Science Photo Library / MVphotos
102 ylh. vas. (2) Laguna Design / Science Photo Library
102 kesk. vas. David Taylor / Science Photo Library / MVphotos
102 alh. vas. Gustoimages / Science Photo Library
102 kesk. oik. Science Photo Library / MVphotos
103 ylh. vas. Laguna Design / Science Photo Library
103 kesk. vas. Gary Cook, Visuals Unlimited / Science Photo Library
103 (NaCl kuutio) Carol & Mike Werner / Visuals Unlimited, Inc. / Science Photo Library
103 kesk. Science Photo Library / MVphotos
103 kesk. oik. Syda Productions / Mostphotos
104 ylh. Martyn F. Chillmaid / Science Photo Library
104 kesk. Science Photo Library / MVphotos
105 ylh. Alexey Romanov / Mostphotos
105 kesk. Anton Starikov / Mostphotos
105 alh. vas. Science Photo Library / MVphotos
106 ylh. vas. Laguna Design / Science Photo Library
106 ylh. oik. Russell Kightley / Science Photo Library

110 tausta Bram Janssens / Mostphotos
110 alh. oik. Szasz-Fabian Jozsef / Mostphotos
111 ylh. Russell Kightley / Science Photo Library / MVphotos
111 vas. Gary Hincks / Science Photo Library / MVphotos
111 alh. Magnus Knutsson / Mostphotos
112 ylh. Carol & Mike Werner / Visuals Unlimited, Inc. / Science Photo Library / MVphotos
114 vas. Trevor Clifford Photography / Science Photo Library / MVphotos
115 ylh. Science Photo Library / MVphotos
115 alh. vas. Science Photo Library / MVphotos
115 alh. oik. Science Photo Library / MVphotos
117 ylh. vas. Alexey Romanov / Mostphotos
117 ylh. oik. Anton Starikov / Mostphotos
117 alh. vas. Laurentiu Iordache / Mostphotos
117 alh. oik. Andrew Lambert Photography / Science Photo Library / MVphotos
118 vas. Science Photo Library / MVphotos
120 ylh. Laurentiu Iordache / Mostphotos
120 kesk. Science Photo Library / MVphotos
120 alh. Martyn F. Chillmaid / Science Photo Library / MVphotos
123 oik. Trevor Clifford Photography / Science Photo Library / MVphotos
125 ylh. kesk. Science Photo Library / MVphotos
125 ylh. vas. Science Photo Library / MVphotos
125 ylh. oik. Science Photo Library / MVphotos
125 kesk. oik. Sander van der Werf / Mostphotos
125 alh. vas. Science Photo Library / MVphotos
125 alh. oik. Schmitt / Science Photo Library / MVphotos
126 ylh. vas. Science Photo Library / MVphotos
126 alh. vas. Raldi Somers / Mostphotos
126 kesk. oik. Science Photo Library / MVphotos
127 ylh. vas. Science Photo Library / MVphotos
127 ylh. oik. Sander van der Werf / Mostphotos
127 kesk. Hikmet Kilic / Mostphotos
127 alh. Adam Hart-Davis/Science Photo Library. / MVphotos
128 ylh. User_9097 / Mostphotos
128 (lootusefekti) User_49921 / Mostphotos
128 kesk. Sinclair Stammers / Science Photo Library / MVphotos
128 alh. Andrew Lambert Photography / Science Photo Library / MVphotos
129 alh. vas. Paul Rapson / Science Photo Library / MVphotos
129 alh. oik. Andrew Lambert Photography / Science Photo Library / MVphotos
130 kesk. Galyna Andrushko / Mostphotos
130 alh. vas. Dr. Stanley Flegler / Visuals Unlimited, Inc. / Science Photo Library / MVphotos
130 alh. kesk. Dr. Stanley Flegler / Visuals Unlimited, Inc. / Science Photo Library / MVphotos
130 alh. oik. Dr. Stanley Flegler / Visuals Unlimited, Inc. / Science Photo Library / MVphotos
134 ylh. Rainer Junker / Mostphotos
134 ylh. vas. Wavebreakmedia / Mostphotos
134 alh. vas. Digitalpress / Mostphotos
134 tausta Nikolai Okhitin / Mostphotos
135 ylh. Aleksandrs Tihonovs / Mostphotos
135 vas. Science Photo Library / MVphotos
136 vas. alh. Science Photo Library / MVphotos
137 alh. Wavebreakmedia / Mostphotos
141 varoitusmerkit 9 kpl Tukes
142 ylh. vas. Päivi Koskinen
142 alh. vas. Päivi Koskinen
147 ylh. Amin Ostovari / Mostphotos
147 kesk. Martyn F. Chillmaid / Science Photo Library / MVphotos
147 alh. Chad Mcdermott / Mostphotos
149 ylh. vas. Claus Lunau / Science Photo Library / MVphotos
149 ylh. oik. Philippe Psaila / Science Photo Library / MVphotos
149 kesk. vas. User_49921 / Mostphotos
150 kesk. vas. Science Photo Library / MVphotos
151 alh. oik. Werner Muenzker / Mostphotos
152 alh. vas. CandyBox Images / Mostphotos
152 alh. kesk. Angel Nieto / Mostphotos
152 alh. oik. Wavebreakmedia / Mostphotos
153 alh. vas. Atelier Nyblin / Museovirasto
153 alh. kesk. Hede-Foto / Lehtikuva
153 alh. oik. DPA / MVPhotos

PIIRROSKUVAT

Ari Koskinen: 6, 8, 9, 14, 15 (olomuodon muutos), 20 (alkuräjähdys), 22 (transmutaatio), 24 (silikaatti), 32 (elämän elementit), 33, 35, 40, 41 (olomuodot, liikkeet, olomuodon muutos), 43, 44, 46, 48, 57, 75 (atomimallit, elektronikonfiguraatiot, atomiluku, ionisäteet), 78, 79 (fluori), 80, 81, 87, 88, 91, 92 (molekyylit), 93, 94, 95 (HCl-osittaisvaraus, metaani), 96, 98, 101, 102, 103, 105, 106 (fullereeni), 109 (magnesiumkloridi, ioniluonne ja elektronegatiivisuus), 112 (muut paitsi dispersiovoima), 114, 116 (vetysidos), 118, 119, 121 (vetysidosten lukumäärä), 122, 123, 129, 133 (vetysidos, veden rakenne, sokerin liukeneminen, suolan liukeneminen), 148
Pertti Heikkilä: 12, 15 (puhtaat aineet), 16, 20 (piirakkadiagrammit), 22 (jaksollinen järjestelmä), 24 (piirakkadiagrammi), 32 (elämän alkuaineet), 34, 41 (teräksen valmistus, puhtaat aineet, elämän alkuaineet), 50, 52, 53, 54, 60, 61, 62, 63, 66, 69, 70, 71, 73, 75 (jaksolliset ominaisuudet, jaksollinen järjestelmä), 79 (jaksollinen järjestelmä), 86, 92 (epämetallit jaksollisessa järjestelmässä), 95 (epämetallien elektronegatiivisuus), 106 (suolan sulaminen), 109 (elektronegatiivisuus jaksollisessa järjestelmässä, metalliluonne), 112 (dispersiovoima), 113, 116 (muut paitsi vetysidos), 121 (kiehumispisteet), 126, 127, 133 (dispersiovoima, dipoli-dipolisidos, viivadiagrammit), 136, 138, 144, 146

KUVITUS / LUKION KEMIA 1 DIGIKIRJAN RIKASTEET

VALOKUVAT
Tekijöiden paitsi seuraavat:

s. 13 Dispersiotyypit
hiuslakkaa hiuksiin: contrastwerkstatt / Mostphotos
tehtaan piiput: Mostphotos
laskiaispulla: Mostphotos
kosmetiikkaa hyllyllä: Mostphotos
vesivärejä: Mostphotos
vaahtokarkkeja: Kati Molin / Mostphotos
helmet: Mostphotos
kynttilä: Mostphotos

s. 14 Erotusmenetelmät
paperikromatografia: Andrew Lambert Photography / Science Photo Library / MVphotos
dekantointi: MVphotos
haihdutus: Trevor Clifford Photography / Science Photo Library / MVphotos
sentrifugointi: Wladimir Bulgar / Science Photo Library / MVphotos

s. 54 Kvanttimekaaninen atomimalli
litiumatomin elektronirakenne: Clive Freeman, The Royal Institution / Science Photo Library / MVphotos.

PIIRROSKUVAT
Tekijöiden.

VIDEOT
Tekijöiden paitsi seuraavat:

s. 80 Natriumin reaktio kloorin kanssa
Science Photo Library Motion / MVphotos

s. 70 Natriumin reaktio veden kanssa
Science Photo Library Motion / MVphotos

s. 90 Metallien reagointi veden kanssa
Rhys Lewis & Minh Tan Pham, AHS, DECD, UNISA / Science Photo Library / MVphotos.

R18 Onko suola vaarallista?

Useimpien ihmisten tavoin saatat tuntea hiukan huonoa omatuntoa, kun kurotat kohti suolasirotinta ruokapöydässä. Kaikissa terveellisen ruokavalion suosituksissa varoitetaan, kuinka liiallisen suolankäytön ja korkean verenpaineen välillä on selkeä yhteys.

Mihin suolaa käytetään?

Suola ei aina ole ollut yhtä pahamaineista kuin nykyisin. Toden totta jo muinaiset foinikialaiset säilöivät kalaa kuivaamalla sen ensin ja sitten pakkaamalla sen suolakerrosten väliin. Vuonna 1350 hollantilainen kalastaja Wilhelm Beuckelzon aloitti kaupallisen sillin säilömisen kylläiseen suolaveteen ilman kuivausta. Pohjoismaissa, Englannissa, Hollannissa ja Ranskassa tämä taito oli osattu kotitarvesäilönnässä jo vuosisatoja. Maailman eri kielissä on sanoja ja sanontoja, jotka viittaavat suolan elämää ylläpitäviin ja jopa elämänantaviin ominaisuuksiin. Käytämme meille tärkeästä ja merkityksellisestä ihmisestä usein käsitettä ”elämän suola”. Samoin tekevät esimerkiksi englantilaiset, joiden mielestä palkkionsa ansainnut ihminen on ”suolansa arvoinen” (worth one´s salt). Tämä lienee peräisin roomalaisajalta, jolloin osa sotilaiden palkasta maksettiin suolana, salarium – tästä englannin palkkaa tarkoittava salary.

Miten suolaa valmistetaan?

Suola on kenties helpoin mineraali eristää ja puhdistaa. Yksinkertaisin menetelmä, joka on jo tuhansia vuosia ollut käytössä aurinkoisilla ja lämpimillä merten ranta-alueilla, on haihduttaa vesi merivedestä. Meriveden suolapitoisuus on keskimäärin 3,5 massaprosenttia. Tästä suurin osa on nimenomaan ruokasuolaa eli natriumkloridia, NaCl. Nykyisin tällä menetelmällä valmistetaan kuitenkin vain noin 10 % maailman suolasta. Suurin osa suolasta saadaan suolakaivoksista louhimalla haliittia eli kuutiollisesti kiteytynyttä natriumkloridia, **vuorisuolaa**. Haliittia on muodostunut muinaisissa maankuoren kohoamissa muodostuneissa sisämerissä, joista vesi on haihtunut pois. Vuorisuolaakin on louhittu jo yli 3000 vuotta. Nykyisin museona toimivasta Wieliczkan kaivoksesta Puolassa louhittiin suolaa yli 700 vuoden ajan.

Millä suolaa voidaan korvata?

Suurimmat suolan lähteet

- lämpimät ruoat
- leipä ja muut viljavalmisteet
- lihavalmisteet (makkarat, leikkeleet)
- juustot
- mausteseokset
- runsassuolaiset naposteltavat

Natriumkloridi voidaan korvata ruoassa muilla suoloilla, kuten kaliumkloridilla, KCl ja magnesiumkloridilla, $MgCl_2$, jotka ovat ihmiselle välttämättömiä, mutta eivät kohota verenpainetta NaCl:n tavoin. Useimmat mineraalisuolat sisältävät juuri näitä terveellisempiä suoloja. Täysipainoiseen ruokavalioon ei kuitenkaan näitäkään tarvitse lisätä, sillä molempia saa riittävästi myös ravinnosta.

Suomessa alettiin 1900-luvun puolivälissä lisätä suolaan jodia, minkä ansiosta jodinpuutoksesta aiheutuva struuma hävisi lähes kokonaan. Suomalaisten joditila oli 1960-luvulta lähtien erinomainen vuosikymmenien ajan. Asia ei kuitenkaan ole muuttuneiden ruokatottumusten vuoksi enää itsestäänselvyys. Terveyden ja hyvinvoinnin laitos (THL) tutki vuonna 2014 suomalaisten jodin saantia, joka on ollut laskussa tällä vuosituhannella. FINRISKI-tutkimusten ja WHO:n määrittelemien tavoitearvojen mukaan suomalaisilla aikuisilla on lievä jodin puutos. Valtion ravitsemusneuvottelukunta päätyi tästä syystä suosittamaan jodin saannin lisäämistä. Lautakunta kuitenkin varoittaa, ettei jodin saantia tule turvata lisäämällä suolan käyttöä, vaan tasapainottamalla muuten ruokavaliota. Merkittävimmät jodin lähteet suomalaisessa ruokavaliossa ovat maitotuotteet, kananmunat, kala ja jodioitu suola. Jo puolet aikuisten saantisuosituksesta täyttyy, kun nautitaan maitotuotteita suositusten mukaan. Myös kala on hyvä jodin lähde, joten kalaa kannattaa syödä suositusten mukaan 2–3 kertaa viikossa. Esimerkiksi annos (125 g) kirjolohta tai norjan lohta kattaa puolet päivän jodin saantisuosituksesta.

Milloin veren suolapitoisuus voi laskea?

Liian alhaisesta veren suolapitoisuudesta kärsii vain hyvin harva ihminen. Tällöin taustalla on lähes poikkeuksetta lisämunuaisen vajaatoiminta (Addisonin tauti). Voimakkaan hikoilun ja urheilusuoritusten jälkeen voi kuitenkin olla tarpeen täydentää elimistön suolavarantoja. Hikoilun seurauksena ihminen menettää natriumin lisäksi muitakin suoloja, kuten magnesiumia ja kaliumia. Kaupalliset urheilujuomavalmisteet ja kivennäisvedet ovat isotonisia liuoksia, joten näiden maltillinen nauttiminen rasituksen jälkeen on paikallaan. Voimakkaan oksentelun ja ripulin jälkeen on myös tärkeää huolehtia riittävästä isotonisesta nesteytyksestä.

R19 Kivennäis- ja hivenaineet

Kivennäisaineet

Natriumioni (Na^+) on merkittävin solujen ulkopuolella, kudosnesteessä esiintyvistä ioneista. Se säätelee kehon nestetasapainoa. Liian alhainen Na^+ -pitoisuus voi johtaa ripuliin, aiheuttaa ahdistusta ja kuivumista sekä sitä kautta verenkierron häiriöitä. Liiallinen natriumin saanti on kuitenkin suurempi ja paljon yleisempi ongelma. Saamme liikaa natriumioneja pääasiassa liian suolaisen ruuan ja suolaisten välipalojen, kuten perunalastujen mukana. Liiallinen Na^+-ionien nauttiminen aiheuttaa turvotusta, koska elimistö varastoi liikaa vettä kudoksiin. Tämän seurauksena verenpaine kohoaa. Hoitamaton korkea verenpaine altistaa aivo- ja sydänverenkierron häiriöille sekä voi vahingoittaa munuaisia. Korkea verenpaine on yksi maailman suurimmista elintasosairauksista. Verenpainelääkkeet kuuluvat maailman eniten myytyjen lääkkeiden listalle.

Kaliumionit (K^+) sijaitsevat solujen sisällä. Niiden tärkein tehtävä on säädellä monia solujen toimintoja esimerkiksi hermoimpulssien kulkua, sydämenlyöntejä ja kehon nestetasapainoa. Kaliumia saa helposti ravinnon mukana. Banaani, peruna ja appelsiinimehu ovat hyviä kaliumionien lähteitä. Oikea tasapaino K^+- ja Na^+-ionien välillä on välttämätöntä, jotta kehon perustoiminnot pysyvät kunnossa.

Kloridi-ionit (Cl^-) toimivat tärkeimpinä vastaioneina natriumioneille kudosnesteissä solujen ulkopuolella. Positiiviset kationit kuten Na^+ -ionit eivät esiinny yksin, vaan niiden sähköisen varauksen neutraloi aina anioni eli negatiivinen ioni. Kloridi-ionit toimivat vastaionina myös vatsalaukussa oleville mahanesteen H^+-ioneille. Näistä syistä johtuen Cl^--ionit osallistuvat natriumionien kanssa kehon nestetasapainon säätelyyn. Koska me saamme kloridi-ioneja ruokasuolan, NaCl:n kautta, on niiden puute hyvin harvinaista.

Kalsiumioneista (Ca^{2+}) valtaosa sijaitsee luustossa. Ihmiskehon massasta n. 2 % on kalsiumioneja ja kalsium onkin välttämätön terveen luuston ja hampaiden rakennusaine. Riittävä kalsiumin saanti on erityisen tärkeää odottaville äideille ja kasvaville lapsille. Kalsium myös suojaa ikääntyviä ihmisiä luukadolta eli osteoporoosilta. Kalsiumionit tarvitsevat aina D-vitamiinia toimiakseen oikein luuston rakennusaineena. Lihasten toimintaan, verenhyytymiseen ja hermosignaalien kuljetukseen tarvitaan myös Ca^{2+}-ioneja. Parhaita kalsiumin lähteitä ruoassamme ovat maitotuotteet ja kokojyväviljat sekä liha.

Magnesiumionit (Mg^{2+}) sijaitsevat pääasiassa luustossa. Niitä tarvitaan myös säätelemään sellaisten entsyymien toimintaa, jotka osallistuvat energian vapauttamiseen syömästämme ravinnosta. Magnesiumioneja saamme kaikista vihreistä kasviksista, koska Mg^{2+}-ioni on olennainen aine klorofyllissä eli lehtivihreässä. Saamme magnesiumioneja hyvin myös maitotuotteista, kokojyväviljasta sekä perunasta.

Fosfaatti-ionit ($H_2PO_4^-$ tai HPO_4^{2-}) esiintyvät elimistössä lähinnä Ca^{2+}-ionien vasta-anionina. Noin 85 % prosenttia fosfaatti-ioneista on luustossa, mutta ne ovat tärkeitä vasta-ioneja myös energiantuotannossa ruoasta. Fosfaatti-ioneja saamme samoista lähteistä ravinnossamme kuin kalsiumioneja eli maitotuotteista, kokojyväviljasta ja lihasta.

Hivenaineet

Hivenaineet ovat metalli-ioneja, jotka ovat normaaleille elintoiminnoille välttämättömiä, mutta tarvitsemme niitä huomattavasti pienempiä määriä kuin yllämainittuja kivennäisaineita. Hivenaineita ovat rauta (II), kromi(III), kupari(II) ja sinkki ionimuodossa. Anioneina hivenaineissa esiintyvät fluoridi-, jodidi- ja vetykarbonaatti-ionit. Näiden lisäksi elimistömme tarvitsee hyvin pieniä määriä seleeniä, mangaania ja rikkiä erilaisissa muodoissa.

Hivenaine	Tärkeimmät lähteet	Merkitys terveydelle	Puutosoireet
rauta Fe	sisäelimet, punainen liha, kala, munankeltuainen, tummanvihreät lehtikasvit, palkokasvit, täysjyvävilja	hapen kuljetus ja varastointi hemoglobiinin ja energia-aineenvaihduntaan osallistuvien entsyymien rakenneosa	anemia: väsymys, heikotus, kalpeus, ruokahaluttomuus, vastustuskyvyn heikkeneminen
sinkki Zn	täysjyvävilja, liha, kala, äyriäiset, maitotuotteet, pähkinät ja palkokasvit	välttämätön kasvulle, lisääntymiselle, immuunijärjestelmän toiminnalle luuston ja ihon kunto, haavojen paraneminen ja makuaisti	iho-oireet, haavojen hidas paraneminen, heikko vastustuskyky, hiustenlähtö, haju- ja makuaistin häiriöt.
kupari Cu	oluthiiva, liha, sisäelimet, äyriäiset, pähkinät, täysjyvävilja, kaakao ja sienet	veren, luuston ja sidekudosten muodostuminen auttaa raudanimeytymisessä monissa entsyymeissä	puutostilat harvinaisia muilla kuin keskosilla ja imeytymishäiriöistä kärsivillä
jodi I	maitotuotteet, jodioitu suola, kananmuna, merieläimet ja merilevä	kilpirauhashormonin toiminta	struuma ja kilpirauhasen toimintahäiriöt
seleeni Se	täysjyvävilja, sisäelimet, liha, kala palkokasvit, maitotuotteet	soluja suojaava antioksidantti	lihaskipu ja -heikkous, sydämen toimintahäiriöt
mangaani Mn	pähkinät, palkokasvit, täysjyvävilja	tärkeä luiden ja sidekudosten muodostumisessa energiantuotannosta vastaavien entsyymien rakenneosa	ei tunneta
kromi Cr	liha, pähkinät, kokojyvävilja, juustot, munankeltuainen	sokeriaineenvaihdunta	ei tunneta
rikki S	proteiinipitoiset ruuat	rikkiä on kaikissa soluissa, erityisesti proteiineissa.	ei tunneta

R23 Varauspilvet

Gilbert Newton Lewis (1875–1946) oli yksi viime vuosisadan merkittävimmistä kemisteistä. Vuosien 1916–19 välisenä aikana hän kehitti samanaikaisesti Irving Langmuirin ja Walther Kosselin kanssa oktettisäännön. Lewis kehitti sääntöä pisimmälle ja siksi sitä kutsutaankin Lewis-teoriaksi.

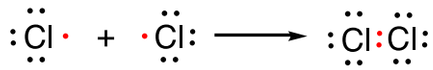
Gilbert Lewis oli myös ensimmäinen, joka onnistui valmistamaan raskasta vettä, jossa kaikki vetyatomit oli korvattu deuteriumatomeilla.

Lewis-rakenteet

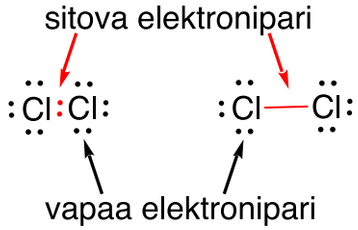
Kun kemiallisia rakenteita esitettään, käytetään joskus merkintää, jossa atomin uloimman kuoren elektroneja merkitään pisteellä. Kaksi pistettä atomisymbolien välissä merkitsee yksinkertaista kovalenttista sidosta. Tämä on nimeltään **Lewis-rakenne.** Esimerkiksi vetymolekyyli H_2 voidaan merkitä H **:** H.

Vapaa elektronipari

Lewis-teorian eli oktettisäännön mukaan jokaisella atomilla tulee olla kahdeksan elektronia ympärillään, kun se on kemiallisesti sitoutunut (vedyllä on pikkuoktetti, eli kaksi elektronia). Otetaan esimerkiksi kloorimolekyyli Cl_2 ja piirretään sille Lewis-rakenne:

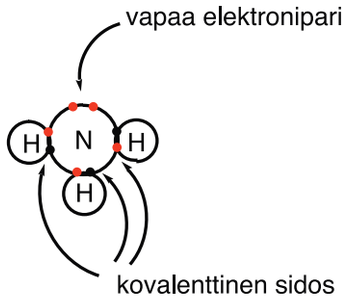


Jaettuja elektroneja kutsutaan **sidoselektroneiksi** ja ne on merkitty yllä olevaan kuvaan punaisella pisteellä. loput elektroniparit, jotka ovat yhden atomin käytössä, eivät muodosta sidosta ja niitä kutsutaan **vapaiksi elektronipareiksi.** Kummallakin kloorilla on yksi sidoksen muodostava elektroni ja kolme vapaata elektroniparia. Selvyyden vuoksi merkitsemme usein sitovan elektroninparin pisteiden sijasta viivalla.

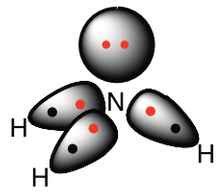


Varauspilvi

Molekyyleillä ja molekyyli-ioneilla on monenlaisia muotoja. Molekyylin keskusatomin valenssikuoren elektronien lukumäärä määrää molekyylin muodon. Riippumatta siitä, onko elektronipari sitova vai vapaa, se esiintyy todellisuudessa varauspilvenä molekyylin ympärillä. elektronit eivät suinkaan ole paikallaan eikä kovalenttinen sidos ole jäykkä tanko atomiytimien välillä, vaan kaikki elektronit ovat jatkuvassa liikkeessä. Varauspilvi edustaa sitä avaruuden tilaa, jossa elektroni todennäköisimmin esiintyy.



Ammoniakin Lewis-rakenteessa näemme, että typpi muodostaa kolme kovalenttista sidosta vetyjen kanssa ja että sillä on yksi vapaa elektronipari.



Varauspilvet voidaan esittää epäsymmetrisinä siten, että keilan tilavuus on suurempi elektronegatiivisemman atomin läheisyydessä

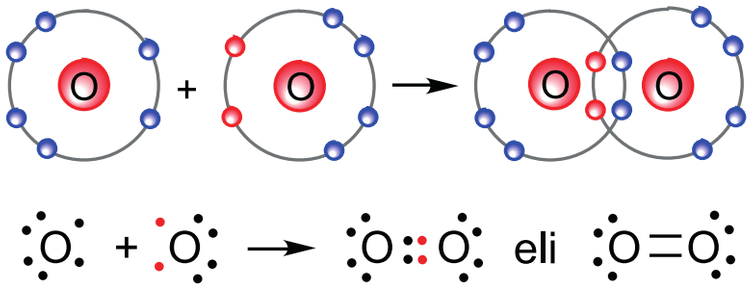
T Tehtävä

a) Piirrä Lewis-rakenteet seuraaville molekyyleille: H_2O, NH_3, CH_4 ja HF.

b) Piirrä varauspilvet a-kohdan molekyyleille. Muista pilven muodon ja elektronegatiivisuuden välinen yhteys.

R24 Koordinaatiosidos

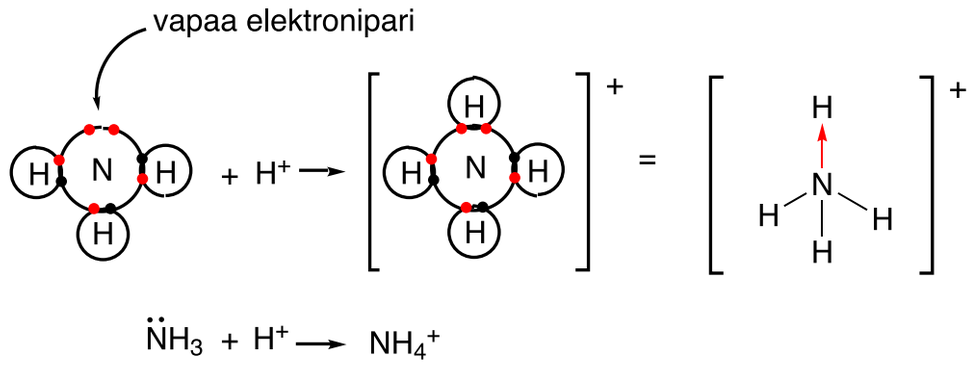
Luvussa 12 opiskelet, miten epämetalliatomit muodostavat molekyylejä kovalenttisilla sidoksilla. Yksinkertaisessa kovalenttisessa sidoksessa kaksi atomia jakaa kumpikin yhden valenssielektronin, kaksinkertaisessa kaksi, ja kolminkertaisessa kolme valenssielektronia. Voimme esittää tällaisen molekyylin **Lewis-rakenteena:**



Kuvassa kahden happiatomin väliin on muodostunut kaksoissidos. Joskus atomille jää elektroneja, jotka eivät ole sidosta muodostavia valenssielektroneja. Tällöin ne muodostavat sitomattoman elektroniparin tai **vapaan elektroniparin** yhdelle atomille.

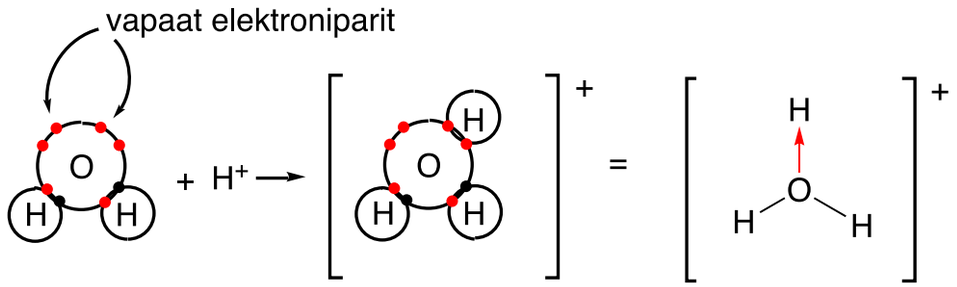
Koordinaatiosidos

Koordinaatiosidoksessa molemmat valenssielektronit tulevat yhdeltä atomilta. Esimerkiksi **Ammoniumioni NH_4^+** muodostuu, kun ammoniakin typpi jakaa vapaan elektroniparinsa protonin H^+ kanssa.



Koordinaatiosidos voidaan merkitä nuolena, joka tässä esimerkissä osoittaa, että sidoksen molemmat elektronit ovat peräisin typpiatomilta. Huomaa, että syntynyt sidos ei enää poikkea luonteeltaan muista N-H sidoksista.

Happamissa vesiliuoksissa vesi on ottanut vastaan protonin H^+ ja muodostuu **oksoniumioni H_3O^+**. Hapella on kuusi ulkoelektronia, joista se käyttää kaksi muodostaakseen vesimolekyylin kahden vetyatomin kanssa. Hapelle jää myös kaksi vapaata elektroniparia. Koska protonilla ei ole yhtään elektronia, tarvitaan toinen hapen vapaista elektroniparista muodostamaan kolmas O-H –sidos oksoniumionissa.



$\ddot{H}_2O + H^+ \longrightarrow H_3O^+$

T Tehtävä

Fosfiini (PH_3) on erittäin myrkyllinen fosforin ja vedyn muodostama yhdiste. Fosfiinia käytetään muun muassa kemiallisessa synteesissä, elektroniikkateollisuudessa ja tuholaisten torjunta-aineena. Fosfiini reagoi protonin kanssa ja muodostaa yhdistettä PH_4^+.

a) Kuinka monta ulkokuoren elektronia on fosforiatomilla P?

b) Nimeä PH_3:ssa se atomi, joka luovuttaa elektroniparin koordinaatiosidokseen.

c) Piirrä kaaviokuva, jossa näkyy PH_4^+:n muodostuminen.

? Pohdi

Väittelyllä voidaan aloittaa koko kurssi. Samalla kartoitetaan opiskelijoiden ennakkoasenteita ja -käsityksiä kemiasta ja sen merkityksestä. Tehtävään ei ole oikeaa vastausta. Tärkeintä on saada aikaan keskustelu ja kiinnostus kemian opiskeluun.
Opiskelijat voivat tehdä tämän tehtävän parityönä tai suuremmissa ryhmissä. Tehtävä voidaan antaa myös kotitehtäväksi ensimmäisellä kemiantunnilla, jolloin tutustutaan kurssiin. Opiskelijan omassa työssä voi tehtävänanto olla esimerkiksi: ”Mieti vähintään 5 perustelua kumpaankin väitteeseen.

Pohdi -tehtävä on syytä myös purkaa. Hyviä purkutapoja ovat:

- paneelikeskustelu
- väittely
- yksittäisten opiskelijoiden argumenttien kerääminen.

Kemian hyviä puolia:

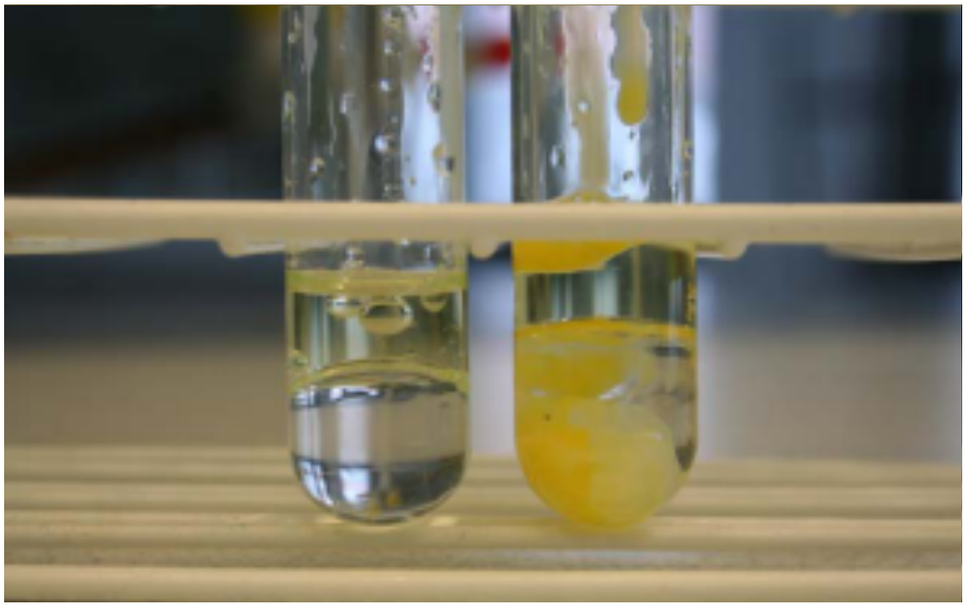
- terveydenhuolto ja lääkkeet
- materiaalit: metallit, komposiitit, biomateriaalit, biohajoavat materiaalit
- vedenpuhdistus
- teollisuuden ja liikenteen päästöjen puhdistus = ilmanpuhdistus
- ravinto: lannoitteet ja torjunta-aineet

Kemian huonoja puolia:

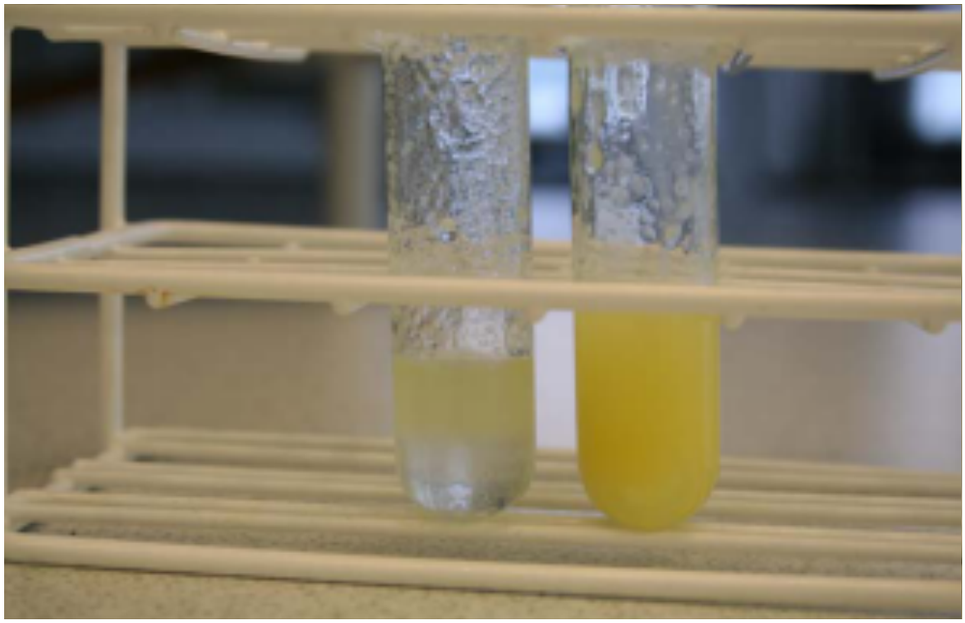
- ympäristön saastuminen
  - vesi
  - ilma
- tehotuotanto
- ilmaston lämpeneminen (fossiiliset polttoaineet)
- kemikaalikuormitus
- tehoviljely: biodiversiteetin väheneminen

Demonstraatio

Kahteen koeputkeen otetaan kumpaankin ruokaöljyä ja ruokaetikkaa suhteessa 1:2. Toiseen koeputkista lisätään hiukan kananmunan keltuaista. Koeputkia ravistetaan voimakkaasti ja jätetään lopputunnin ajaksi koeputkitelineeseen. Mikä vaikutus kananmunan keltuaisella on seokselle?



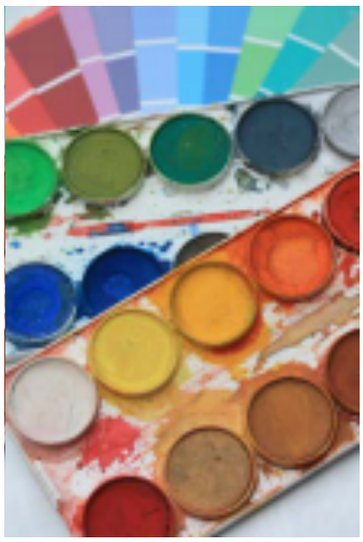
Vasemmalla vesi ja öljy, oikealla vesi ja öljy ja kananmunan keltuainen. Molemmat koeputket on kuvattu heti lisäyksen jälkeen ennen sekoitusta.



Koeputkia ravistettiin voimakkaasti ja jätettiin telineeseen 30 minuutiksi.

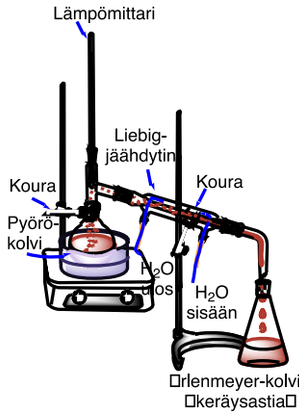
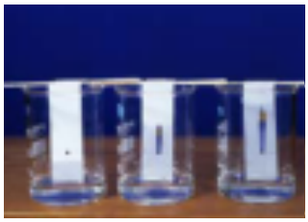
Taulukko 2.1. Dispersiotyypit

Dispersiotyyppi	Kuvaus	Esimerkkejä
aerosoli (neste)	neste kaasussa	sumu, hiuslakka
aerosoli (kiinteä)	kiinteä kaasussa	savu
vaahto	kaasu nesteessä	partavaahto, kermavaahto
emulsio	neste nesteessä	maito, majoneesi, kosteusvoide

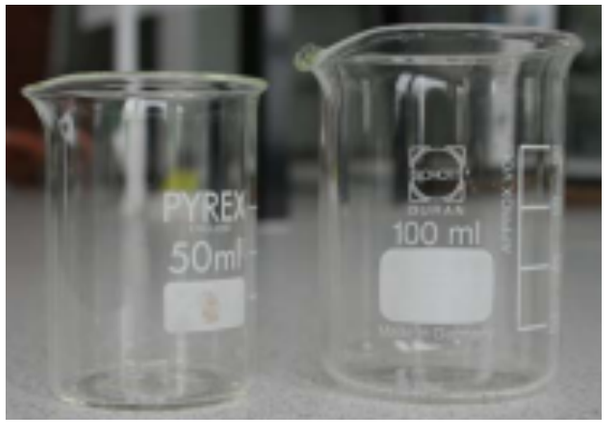
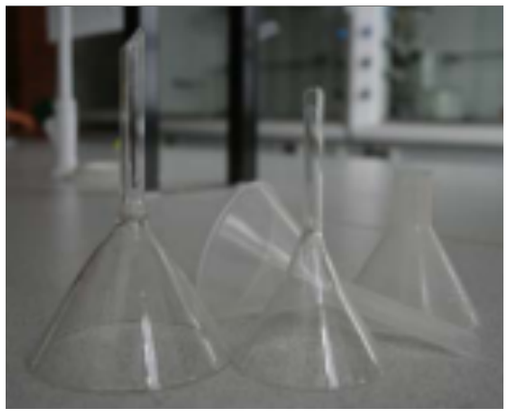
suspensio (sooli)	kiinteä nesteessä	vesivärimaali, liete 
kiinteä vaahto	kaasu kiinteässä	solumuovi, vaahtokaramelli
kiinteä emulsio	neste kiinteässä	helmi, voi
kiinteä suspensio	kiinteä kiinteässä	rubiinilasi

Menetelmiä, joita käytetään seosten aineiden erottamiseen toisistaan

	Erotusmenetelmä	Periaate	Esimerkkejä
Mekaaniset menetelmät	Dekantointi	Heterogeenisen seoksen päällimmäinen kerros kaadetaan pois. Käytetään usein dekantterilasia.	Veden ja hiekan erottaminen Veden ja öljyn erottaminen
	Suodatus	Nesteeseen tai kaasuun liukenematon osa jää suodattimeen, mutta muu osa kulkee läpi.	Vedenpuhdistus suodattamalla suodatinpaperin tai mikrofiltterin läpi tai imusuodattamalla Savukaasujen puhdistus savupiippuun asennetulla suodattimella
	Sentrifugointi	Erimassaiset aineet erottuvat voimakkaassa pyörimisliikkeessä. Raskain osa painuu pohjalle.	Veren plasman ja verisolujen erotus sentrifugissa

Aineen olomuodon muutoksia hyödyntävät menetelmät	Haihdutus 	Liuotin poistetaan liuoksesta kuumentamalla.	Veden poisto suolaliuoksesta
	Tislaus 	Liuoksen aineet höyrystyvät kiehumispisteidensä mukaisessa järjestyksessä, jonka jälkeen ne tiivistetään yksi kerrallaan ja kerätään erillisiin keräysastioihin. Aineiden kiehumispiste riippuu paineesta eli aineiden kiehumispistettä voidaan alentaa alipaineella. Tätä kutsutaan alipainetislaukseksi. Näin voidaan parantamaan erotusta.	Öljynjalostus Veden puhdistaminen siihen liuenneista aineista Ilman kaasujen erotus toisistaan Liuottimen poisto teollisissa valmistusprosesseissa Väkevöityjen alkoholijuomien valmistaminen käymistuotteista
	Sublimonti / härmistys Katso video Sublimointi ja härmistys	Kiinteä aine kuumennetaan olosuhteissa, joissa se sublimoituu kaasuksi ja härmistetään viilentämällä.	Elintarvikkeiden pakastekuivaus Orgaanisten puolijohdekomponenttien valmistus vedettömissä oloissa
Liukoisuuseroihin perustuvat menetelmät	Uutto 	Seoksen komponentit erotetaan liuottamalla ne nesteisiin, jotka eivät liukene toisiinsa. Erotus perustuu aineiden erilaisiin liukoisuuksiin käytettäviin liuottimiin. Tämä tehdään usein erotussuppilolla.	Kahvin tai teen valmistus Kemiallisten yhdisteiden erotus kasvimateriaalista esimerkiksi hajuvesiteollisuudessa
	Kromatografia 	Nesteen tai kaasun sisältämät aineet liikkuvat eri nopeuksilla paikallaan pysyvässä faasissa. Paikallaan pysyvä faasi voi olla paperi, pinnoitettu levy tai pylväs, joka on täytetty esimerkiksi silikalla eli piidioksidilla.	Sokerien teollinen puhdistus Orgaanisten yhdisteiden erotus tunnistustarkoituksiin
	Kiteytys	Aineiden liukoisuuksia muutetaan niin, että toivottu aine kiteytyy liuoksesta puhtaana.	Sokerinvalmistuksen viimeinen puhdistusvaihe Lääkeaineiden puhdistus

Kemian työvälineitä

Työväline ja käyttötarkoitus	Kuva välineestä tai laitteistosta
Dekantterilasi käytetään erityisesti heterogeenisten seosten dekantoimiseen nesteen ja kiinteän aineen seoksille.	
Erlenmeyer pullo sekoitus pyörittämällä, jolloin on vähäinen roiskumisvaara. Sopii esimerkiksi titrauksiin. suodoksen keräys suodatuksessa nesteiden kuumentaminen (uudelleenkiteytys) mikrobikulttuureiden kasvatus **Imupullo** alipainesuodatuksiin	
Suppilo nestesuppilot (vas.) ja jauhesuppilo suodatus ja aineiden siirto kapea-kaulaiseen reaktioastiaan tai pulloon. **buchnersuodatin** **sintterisuodatin** Sivuputkellista (vas.) käytetään imusuodatukseen.	

Haihdutusmalja nesteiden haihduttamiseen liuoksista	
Upokas aineiden kuumentaminen ja hehkuttaminen	
Mittalasi nestemäärien, joiden tarkkuus on 0,5 –1 ml, mittaamiseen tilavuudet 10 ml–2 l	

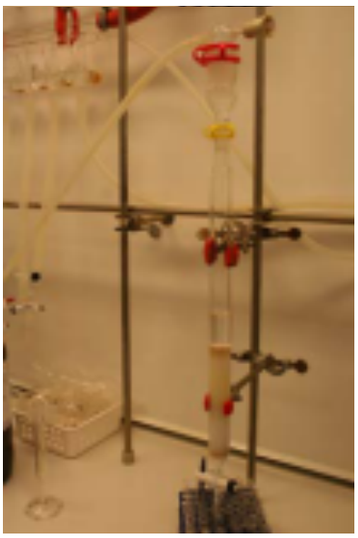
Pipetit ja pumpetti
mitataan nesteitä erilaisilla tarkkuuksilla
pumpettia käytetään nesteen imemiseen
pipettiin.

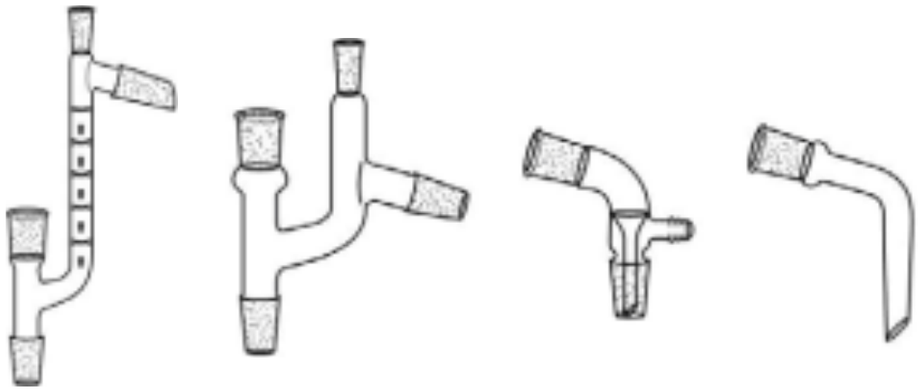
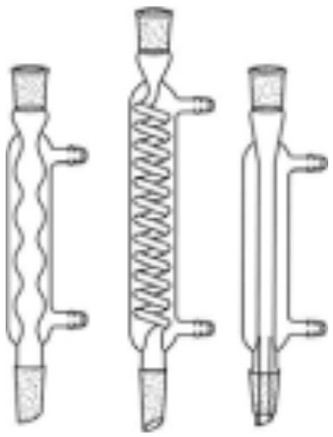
Mittapullo
mittapulloon valmistetaan liuoksia, joiden
pitoisuus ja tilavuus on määritetty tarkasti

Reaktioastioita
pyörökolvi
keittopullo
kolmikaulakolvi

Erotussuppilo
kahden toisiinsa liukenemattoman nesteen erotus
Tiputussuppilo
nesteen lisäys tiputtamalla

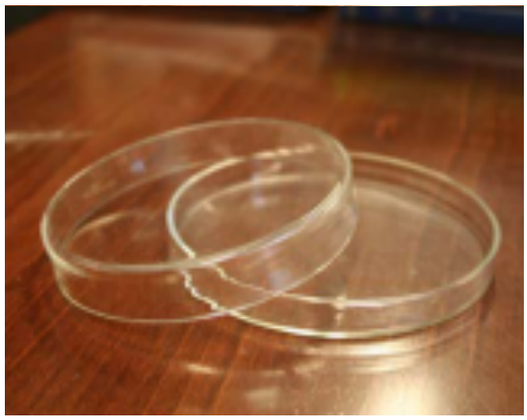
Byretti
nesteiden lisäys tipoittain, kun kulutettu tilavuus tunnettava, esim. titraus
Kromatografiapylväs
seosten erotus pylväskromatografialla
Kaasunpesupullo
kaasujen siirto ja pesu



Erilaisia reaktioastioiden ja tislauslaitteiston välikappaleita	
Erilaisia jäähdyttimiä tislauslaitteistoihin	

Muita laboratoriotarvikkeita

Huhmare



Petrimalja

Pinsetit

Magneettisekoittaja

Eksikaattori

Analyysivaaka

Th Tiedonhankinta

Tutustu Lukion Kemia 1 sähköiseen materiaaliin ja muihin tietolähteisiin ja tee tutkielma yhdestä tai useammasta seuraavista aiheista:

T1 Luonnonvedet
T2 Vesiensuojelu
T3 Ilman puhtaus

Luonnonvedet

Luonnonvesiä ovat kaikki vesistöjemme osat: purot, joet, lammet, järvet ja merialueet. Nämä ovat pintavettä. Lisäksi maaperässämme esiintyy pohjavettä, joka on imeytynyt maaperän kerrostumien läpi alempiin maanpinnan osiin. Myös sadevesi on luonnonvettä.

Luonnonvedet sisältävät niiden esiintymisalueen ekologiseen ympäristöön tyypillisiä kasveja ja eläimiä, joiden hajoamistuotteet ja jätökset vaikuttavat veden sisältämiin aineisiin ja veden laatuun.

Luonnonvesien laatuun vaikuttavat hyvin monet tekijät. Vedet ovat jo luonnostaan hyvin erilaisia riippuen siitä millaisella valuma-alueella ne sijaitsevat ja miten paljon niiden valuma-aluetta on ihmistoimin muutettu ja muokattu. Myös veden virtaama, järvien koko ja muoto, sijainti sekä maa- ja kallioperän laatu vaikuttavat veden sisältämiin aineisiin. Veden sisältämät aineet muuttuvat myös olosuhteiden, kuten vuodenaikojen mukaan. Vesistöjen virtaamat kuljettavat aineita ja eliöiden määrä vaikuttaa esimerkiksi liuenneen hapen määrään.

Suomessa veden sisältämistä aineista tutkitaan happipitoisuus, kokonaisfosfori, kokonaistyppi, klorofyllin määrä, väri ja sameus. Hapen määrä kertoo eliöiden määrästä. Korkeat fosforipitoisuudet ovat taas merkkinä rehevöitymisestä. Maa- ja metsätalouden tuotannon aiheuttamien valumien kautta vesistöön on voinut kerääntyä lannoitteiden ja eläinten jätösten mukanaan kuljettamaa fosforia. myös yhdyskuntajätteet lisäävät vesien fosforikuormitusta. Typpi on toinen rehevöitymistä aiheuttava alkuaine. Suurimpia typpilähteitä ovat valuma-alueiden pellot sekä sadevesi. Sadeveteen liukenee liikenteen ja teollisuuden päästöistä typen oksideja, jotka kulkeutuvat näin vesistöihin. Klorofyllin määrä kertoo vedessä elävien viherhiukkasellisten levien esiintymisestä. Leväkasvustojen runsaus kertoo sekin veden rehevöitymisestä. Veden ruskea väri tulee humuksesta, joka on peräisin turvesoilta. Vaihtoehtoisesti myös rauta värjää vettä ruskeaksi. Veden sameuden aiheuttavat vedessä olevat pienet hiukkaset, kuten saviaines ja levät. Sameuden voimakkuus riippuu liettyneen aineen pitoisuudesta ja hiukkaskoosta. Jokivedet ovat yleensä selvästi järvivesiä sameampia, koska eroosio on niissä voimakkaampaa. Harjualueiden vedet ovat yleensä hyvin niukkaravinteisia ja kirkkaita.

Orgaanisen aineksen lisäksi luonnonvesiin liukenee maaperän mineraaleja ja suoloja. Merivedessä on eniten natrium- ja magnesiumsuoloja pääasiassa niiden klorideina. Suomalaiset luonnonvedet ovat pääasiassa lievästi happamia, koska maaperässämme ei ole pH:ta nostavia karbonaattimineraaleja. Alueilla, joilla maaperä koostuu karbonaattisuoloista, on luonnonvesiin liuennut esimerkiksi natriumkarbonaattia, magnesiumkarbonaattia ja kalsiumkarbonaattia. Nämä mineraalit ovat tasapainossa hiilihapon kanssa ja monissa Euroopan maissa esiintyy luonnollisia hiilihapollista vettä sisältäviä kivennäisvesilähteitä.

Ympäristöstä pääsee luonnonvesien pintaveteen myös erilaisia roskia. Erityisesti havupuiden pihka aiheuttaa öljymäisiä läikkiä veden pinnalle. Keväisin ja alkukesällä kasvien siitepölypitoisuudet vesissä ovat hyvinkin korkealla. Sadevesiin liukenee ilmassa olevia kaasumaisia aineita, kuten typen oksideja ja hiilidioksidia. Sadevedessä on myös aerosolina esiintyviä kiinteitä partikkeleita.

Pohjavedet ovat erityisesti Suomessa pääosin hyvin puhtaita ja niukkaravinteisia. Jos pohjavetedessä esiintyy jotain aineita, ne ovat yleensä ihmisen toiminnan seurauksena sinne joutuneita. Tällöin pohjavesi ei ole esimerkiksi sellaisenaan juomakelpoista. Mineraalien rapautuminen ja niistä irronneiden metalli-ionien liukeneminen voi luontaisesti muuttaa pohjaveden koostumusta.

Ihmisen toiminnan vaikutus vesistöjen laatuun

Yhdyskunta

Ihminen käyttää jokapäiväisessä elämässään vettä ja vesistöjä sekä hyöty- että virkistystarkoituksessa. Hyötykäytön seurauksena vettä tulee puhdistaa ja puhdistuksesta tuleva jäte tulee jatkojalostaa tai uudelleen sijoittaa. Nykypäivänä vesi- ja ympäristölainsäädäntö edellyttää, että vesistöihin laskettava puhdistettu jätevesi ei saa sisältää juuri enempää ravinteita kuin laskukohdan luonnonvedet. Joillain alueilla sade- ja sulamisvesiä eli hulevesiä ei puhdisteta, jolloin niiden mukana vesistöihin voi kulkeutua liuenneita suoloja ja muita ravinteita. Hulevedet voivat myös happamoittaa vesistöjä, koska niihin liukenee ilman typen oksideja. Haja-asutusalueilla jätevesiä ei johdeta vesijohtoverkkoa pitkin vedenpuhdistamolle, vaan ne tulee käsitellä kiinteistön alueella. Pienet määrät voidaan imeyttää maaperään, mutta silloin tulee huolehtia, ettei aiheudu valumia, joiden kautta bakteerit ja muu vahingoittava aines joudu vesitöihin.

Maatalous

Peltoviljelyssä käytetään lannoitteita, joita pääsee valumaan vesistöihin. Tällöin vesistöjen typpi- ja fosforipitoisuudet nousevat. Seurauksena on vesistöjen rehevöitymistä ja ennen pitkää happipitoisuuden alenemista. Tehoviljely voi aiheuttaa eroosiota, jolloin kiviainesta ja savea valuu ojien ja jokien kautta vesistöihin. Tästä aiheutuu sameutta veteen. Metsätaloudessa suuret avohakkuut ja niitä seuraavat metsäpohjan muokkaus irrottavat ravinteita karikekerroksesta. Humuspitoinen vesi värjää vesistöjä ruskeaksi sekä alentaa veden pH:ta eli happamoittaa sitä. Myös ravinteiden huuhtoutuminen helpottuu ja samalla metsäpohja köyhtyy. Karjataloudessa eläinten lanta voi huolimattomasti käsiteltynä levittää suolistobakteereita, kuten Escerichia coli. Tällaista vettä voi kevään tulva-aikoina päästä valumaan pintavesiin. Jos näin tapahtuu juomaveden ottamon alueella, pitää vesi ensin desinfioida ennen kuin sitä voi käyttää juomavetenä. Tavallisimmin vesi desinfioidaan klooraamalla se. Jos taas eläinten lantaa käytetään peltojen lannoittamiseen, kuten tehdään luomuviljelyssä, on estettävä sekä bakteerien että typen ja erityisesti fosforin valuminen vesistöihin. Maataloustuotannossa yleisesti myös eloperäinen hiili kuormittaa vesistöjä.

Liikenne

Liikenteen polttoaineet tuottavat sekä hiilidioksidia että typen oksideja. Aiemmin myös rikin oksidit pääsivät ilmakehään. kaikki nämä kaasut reagoivat ilmassa olevan kosteuden kanssa muodostaen happoja, jotka satavat alas happosateina. Hiilidioksidia myös liukenee erityisesti meriveteen suoraan ilmasta. Vesistöjen pH:n lasku vahingoittaa eliöstöä sekä voi aiheuttaa korroosiota sekä liuottaa metalleja putkistoista aiheuttaen raudan ja kuparin värihaittoja. Välillisesti liikenteen kautta vesistöihin voi kohdistua suolakuormitusta teiden suolauksen johdosta. Yleisin maantiesuola on ruokasuola, natriumkloridi, joka aiheuttaa korroosiota. Suolojen valuminen pohjavesiin pilaa niitä, koska suolaista vettä ei voi käyttää kastelussa eikä juomavetenä (osmoosi).

Teollisuus

Teollisuuden päästöt ovat samankaltaisia kuin liikenteelläkin. Teollisuus voi kuitenkin aiheuttaa paikallisesti huomattavia haittakeskittymiä. Riippuen teollisuuden haarasta vesistöihin voi joutua onnettomuuksien seurauksena joko sinne kuulumattomia kemikaaleja (sulfaattipäästöt nikkelin jalostuksessa) tai pH:n muutoksia (selluteollisuus). Länsimaissa sekä ilmasto- että vesiensuojelulainsäädäntö on jo niin pitkälle kehittynyttä ja tarkasti säädeltyä ja vesikierrot täysin suljettuja, ettei ympäristölle aiheudu normaalitoiminnasta kuormitusta.

Liikenteen ja teollisuuden vaikutus ilman puhtauteen

Energiantuotanto, liikenne ja teollisuus ovat suurimmat ihmisen toiminnasta johtuvat ilmansaasteiden päästölähteet. Yli puolet teollisuusmaiden ilmansaasteista aiheutuu liikenteestä. Suomessa osuus on hieman pienempi. Ihanteellinen polttoainetta käyttävä moottori tuottaisi pakokaasuina vain hiilidioksidia ja vesihöyryä, mutta todellisuudessa pakokaasut sisältävät palamattomia polttoaineosia ja palamisen sivutuotteita kuten typen oksideja. Pakokaasut sisältävät myös mm. häkää, hiilivetyjä, rikkidioksidia ja erilaisia hiukkasia. Autoliikenteen päästöt ovat erityisen haitallisia, koska ne pääsevät ilmaan hengityskorkeudella.

Päästöjen ympäristövaikutukset riippuvat saastemäärästä, päästökorkeudesta, ympäristön laadusta ja ainesosien kemiallisista reaktioista ilmassa. Päästöt voivat olla hyvin paikallisia (esim. turkistarhojen ammoniakkipäästöt), kun taas toiset siirtyvät ilmavirtojen mukana maasta toiseen (esim. pienet hiukkaset ja otsoni).

Rikkidioksidi (SO_2)

Suurimpia rikkidioksidipäästöjen lähteitä ovat laitokset, jotka tuottavat energiaa fossiilisista polttoaineista, metsä- ja metalliteollisuus sekä öljynjalostamot. Päästöt ovat vähentyneet lähes olemattomiin, koska kaasut osataan neutraloida erilaisissa kaasupesureissa jo suoraan päästölähteessä. Terveyteen liittyviä suurempia rikkidioksidipitoisuuksia voidaan havaita lyhytaikaisesti sellaisten laitosten läheisyydessä, joiden päästöt ovat suuria.

Typpioksidit (NO ja NO_2)

Typen oksidit aiheuttavat laskeumaa, joka happamoittaa maita ja vesistöjä ja lisäävät maanläheisen otsonin syntymistä. Tieliikenne, energiantuotanto ja teollisuus vastaavat nykyisin suurimmista typpioksidipäästöistä. Kaupunki-ilman typpioksidien pitoisuudet ovat laskeneet sen jälkeen, kun autojen katalysaattorit alkoivat yleistyä. Toisaalta, lisääntynyt liikennemäärä ja kehitysmaiden vanhempi autokanta ovat hidastaneet tätä suotuisaa kehitystä. Typpidioksidi vaikuttaa ärsyttävästi hengitysteihin ja lisää erityisesti lasten, vanhusten ja astmaatikkojen hengitystieoireita.

Hiukkaset

llmassa on aina luonnollisia hiukkasia, kuten siitepölyä ja sieni-itiöitä, mutta ihmisen toiminta, kuten energiantuotannon ja teollisuuden polttoprosessit, lisäävät hiukkaspitoisuutta. Myös dieselkäyttöiset autonmoottorit ovat huomattava suorien päästöjen lähde. Kaupunki-ilman hiukkaset ovat pääasiassa peräisin tienpintoja kuluttavan liikenteen aikaansaamasta katu- ja asfalttipölystä. Jopa kaksi miljoonaa suomalaista kärsii ajoittain pienhiukkasten ja muiden ilmassa leijuvien epäpuhtauksien aiheuttamista hengitysteiden oireista. Pienet hiukkaset kulkeutuvat syvälle keuhkoihin ja heikentävät niiden toimintakykyä.

Haihtuvat hiilivedyt (VOC)

Hiilivedyt, ts. erilaiset hiilen ja vedyn yhdisteet, ovat peräisin ennen kaikkea liikenteestä, liuotinten, kemikaalien ja maalien käytöstä sekä pientalojen erillislämmityksestä. Ulkoilman hiilivetypitoisuudet ovat yleensä alhaisia. Hiilivetypäästöt lisäävät osaltaan maanläheisen otsonin määrää, jos läsnä on samanaikaisesti typen oksideja. Haihtuvat orgaaniset aineet ja auringonvalo toimivat otsonin syntymisen katalysaattoreina.

Katalysaattoreista ja ajoneuvojen muusta kehittämisestä huolimatta liikenteen päästöjen osuus rikkidioksidista on 20 %, typenoksideista 61 %, häkäkaasusta 53 %, hiilivedyistä 30 % ja hiukkasista 16 %. Nämä kuormittavat ilmakehää, maaperää ja vesistöjä. Hiilidioksidipäästöt ovat suuri ongelma ja niitä ei ole saatu vähenemään. Hiilidioksidi on haitallinen kasvihuonekaasu, mutta se ei aiheuta terveydellistä haittaa ihmisille. Biopolttoaineiden lisäys vähentää hiilidioksidin vapautumista fossiilista polttoaineista. Kaikessa orgaanisen aineen palamisessa syntyy hiilidioksidia, mutta uusiutuvien biopolttoaineiden kokonaisvaikutus riippuu uusiutumistehosta. Samoin sähköautojen ympäristöystävällisyys riippuu sähköntuotannon tavoista.

Helsingin sanomien artikkeleita

https://www.hs.fi/m/sanomapro/a1458533117143?noredirect=true

https://www.hs.fi/m/sanomapro/a1439525822993?noredirect=true

https://www.hs.fi/m/sanomapro/a1371434199349?noredirect=true

https://www.hs.fi/m/sanomapro/a1410407353523?noredirect=true

https://www.hs.fi/m/sanomapro/a1410407189335?noredirect=true

R Ryhmätehtävät

R4 Tutustukaa kemian historiaan
Käyttäkää pohjustuksena lukua 17 (s. 135)

R5 Kemian työvälineet ja kokeellinen työskentely

R6 Seosten erotusmenetelmät
Katso video 2.1 Seosten erotusmenetelmät ja tehkää laajempi selvitys yhden menetelmän sovelluksista

? Pohdi

Planeetta	Typpi N_2 (%)	Happi O_2 (%)	Hiilidioksidi CO_2 (%)
Maa	78	21	0,04
Venus	3,5	merkityksetön	96,5
Mars	1,9	0,15	96

? **Pohdi**

Mitä käyttöä keksit kalkkikivelle ja fosfaatille

Kalkkikivituotteita käytetään mm. maanparannukseen (pH:n nosto kalkitsemisella), voimalaitosten savukaasujen puhdistukseen (neutralointi), veden happamuuden alentamiseen ja eläinten rehuihin sekä rakennusmateriaalien, asfaltin, maalin, muovin, liiman ja paperin täyteaineena.

Fosforin tärkeimmät luonnolliset lähteet ihmisen ravinnossa ovat fosfaatit, joita saadaan maito-, vilja- ja lihatuotteista. Fosfaatteja käytetään yleisesti elintarviketeollisuudessa lisäaineina (E450). Tyypillisiä tuotteita, joihin fosfaatteja lisätään Suomessa, ovat sulatejuustot, leikkeleet, makkarat, marinoidut lihat ja leivinjauholla nostetut leivät, esim. pikkuleivät. Sulatejuustoissa fosfaatteja käytetään levitettävyyden parantamiseksi. Fosfaatteja pidetään tärkeinä lihatuotteiden rakenteen ja vedensidonnan kannalta, ja ne mahdollistavat myös alhaisten suolapitoisuuksien käyttöä. Monissa maissa fosfaatteja ei kuitenkaan käytetä, mutta silloin käytetään enemmän suolaa. Suomessakin on nykyään markkinoilla fosfaatittomia lihatuotteita. Kolajuomat sisältävät myös fosforihappoa.

Pyykinpesuaineissa on aiemmin käytetty fosfaatteja vedenpehmittiminä, mutta ne on nykyisin kielletty. Rajoitus tuli voimaan 30.6.2013. Vastaava rajoitus tulee voimaan kuluttajille tarkoitetuille konetiskiaineille 1.1.2017.

Fosfaatteja käytetään myös lannoitteissa ja posliininvalmistuksessa.

? Pohdi

Kaivostoiminnan ympäristövaikutukset

Kaivostoiminnan ympäristövaikutuksia voivat olla päästöt vesistöön ja maaperään, kaivannaisjätteet (poistettu maa-aines, sivukivi, rikastushiekka), vaikutukset maisemaan, melu, tärinä ja pöly, energian kulutus sekä uraanikaivoksissa radioaktiiviset aineet. Ympäristövaikutukset kohdistuvat kaivostoiminnan vaiheissa eri tavoin. Suurin osa kaivostoiminnan ympäristövaikutuksista syntyy varsinaisen kaivostoiminnan aikana ja kohdistuu kaivoksen lähialueille. Toisaalta vaikutuksia voi ilmetä kaivostoiminnan päättymisen jälkeen vielä pitkäänkin, ja esimerkiksi kaivoksen mahdolliset vesistövaikutukset voivat ulottua laajalle alueelle.

Kaivostoiminnan jätteistä merkittävin on vesi. Pohjavesivaikutuksia voi aiheutua likaantuneiden pinta- ja suotovesien päästessä pohjavesikerrokseen ja levitessä ympäristöön pohjavesivirtauksen mukana. Suotovesipäästöjä voi aiheutua rikastushiekan läjitysalueiden ja jätevesien käsittelyaltaiden lisäksi sivukiven läjitysalueilta ja rikastamoalueelta. Myös mahdollinen rikastushiekka- tai kipsisakka-altaan padon sortuminen voi aiheuttaa merkittäviä ympäristövaikutuksia alueen vesistöön.

Lisäksi metallien talteenotossa voidaan joutua käyttämään kemikaaleja, jotka ovat ympäristölle haitallisia.

Lähde: https://www2.uef.fi/fi/kaivostutkimus/ymparistovaikutukset

(URL tarkistettu 4.4.2016).

R13 Isotoopit lääkinnässä

Lääketieteessä käytetään eri alkuaineiden radioaktiivisia isotooppeja. Yleisimmin radioisotooppeja käytetään diagnostiikassa ja kaikkein yleisin radioisotooppi on teknetium-99.

Ensimmäinen radioisotooppi, jota on käytettu, oli 1950-luvulla jodi-131 kilpirauhassairauksien toteamisessa. Nykyisin jodi 131 käytetään kilpirauhassyövän sädehoidossa. PET kuvantamisessa (positroniemissiotomografiassa), jolla tunnistetaan ja arvioidaan syöpäkasvaimia, käytetään fluori-18 isotooppia.

Syöpähoito

Erilaisten syöpäsairauksien hoidossa käytetään sädehoitoa, jolloin käytetään radioaktiivisia ytimiä. Aiemmin käytettiin lähes yksinomaan ulkoisessa sädehoidossa koboltti-60 tuottamaa gammasäteilyä. Nykyisin on käytössä matalaenergiaisempia ja kudosherkempiä säteilylähteitä kuten iridium-192, jodi-125 tai palladium 103 isotooppeja. Lutetium-177, vismutti-213 ja lyijy-212 käytetään erityisesti kohdennetuissa, suoraan syöpäsoluun kuljetettavina radioisotooppeina. Boori-10 hoidetaan erityisesti vaikeita aivosyöpiä. Tällä hetkellä käytetyimpiä radioisotooppeja ulkoisessa radioterapiassa ovat ytrium-90, Lu-177. Näiden lisäksi käytetään myös samarium-153 ja fosfori-32. Cesium-131, palladium-103 ja radium-223 käytetään sisäisissä sädehoidoissa.

Syöpään liittyvien luukipujen hoitoon käytetään strontium-89 ja samarium-153 sekä uusimpana renium-186.

Gammasäteilyä käytetään yleisesti lääketieteellisten tuotteiden ja instrumenttien sterilointiin. Pienemmässä mittakaavassa käytetään esimerkiksi cesium-137 esimerkiksi verituotteiden sterilointiin.

Lähde: http://www.world-nuclear.org/information-library/non-power-nuclear-applications/radioisotopes-research/radioisotopes-in-medicine.aspx (URL tarkistettu 24.4.2016).

R16 Ilotulitteiden kemiaa

Metallisuoloja käytetään ilotulitteissa antamaan valoa ja väriä sekä kipinöitä. Väriä tuottavien aineiden lisäksi tarvitaan polttoainetta, happilähde ja erilaisia sideaineita.

Ilotulitteen toiminta perustuu nopeaan eksotermiseen reaktioon. Kuumuus saa aineen hehkumaan ja emittoimaan valoa. Absorptio ja emissio riippuvat siitä, mikä alkuaine on kyseessä sekä myös lämpötilasta. Niinpä ilotulitteen palamislämpötilaa säätelemällä on mahdollista vaikuttaa väreihin. Metallit, alumiini, magnesium ja titaani palavat hyvin kirkkaasti. Niiden palaminen tuottaa myös korkean lämpötilan.

Ilotulitteessa näkyvä metallisuolan väri ei aina synny pelkästään metallikationista vaan avuksi tarvitaan sopiva anioni, kuten kloridi-anioni sinisen värin aikaansaamiseksi kuparin ja vihreä bariumin yhteydessä. Joissain tapauksissa metallisuola ei ole pysyvä huoneenlämpötilassa, jolloin lisätään stabilointiainetta. Se voi olla esimerkiksi kloorattua kumia. Tällöin kloori vapautuu ilotulitteen syttyessä ja reagoi esimerkiksi bariumin kanssa.

Puhtaita ilotulitevärejä saadaan vain puhtaista lähtöaineista. Natriumin keltainen valo on hyvin voimakas ja peittää helposti alleen sinisiä, vihreitä ja violetteja sävyjä, jos natriumyhdisteitä on epäpuhtautena muissa suoloissa. Ilotulitteen koostumus on suunniteltava tarkasti myös savunmuodostuksen takia, liika savu ja runsaat palamisjätteet himmentävät värien loiston.

Väri		**Yhdiste**
punainen		litiumkarbonaatti Li_2CO_3
kirkkaan punainen		strontiumkarbonaatti $SrCO_3$
oranssi		kalsiumkloridi ja -sulfaatti $CaCl_2$, $CaSO_4 \cdot nH_2O$, n = 0, 2, 3 tai 5
kulta		rauta Fe (yhdessä hiilen kanssa)
keltainen		natriumnitraatti $NaNO_3$, kryoliitti, Na_3AlF_6
valkoinen hehku		metallinen magnesium ja alumiini Mg, Al, bariumoksidi BaO
vihreä		bariumin suolat ja kloori, yhdessä kloorin vapauttajan kanssa
siniset sävyt		kupariasetoarseniitti $Cu_3As_2O_3 \cdot Cu(C_2H_3O_2)_2$ yhdessä muiden kuparisuolojen ja kloorin vapauttajan kanssa
turkoosi		kupari(I)kloridi, CuCl
hopeavälke		Al, Ti, tai Mg jauheena tai hiutaleina
purppurasävyt		strontium- ja kupariyhdisteiden seos

http://www02.oph.fi/etalukio/opiskelumodulit/kemia/labra/ilotulite.html. (URL tarkistettu 19.4.2017)

Opetusvihje

Tämä tehtävä sopii ilmiöpohjaiseen opiskeluun yhdessä esim. fysiikan, historian ja yhteiskuntaopin kanssa.

T5. Jaksollisen järjestelmän kehityksen vaiheita. Tutkikaa tarkemmin jaksollisen järjestelmän historiaa. Mitä muuta tapahtui maailmassa samoihin aikoihin?

Vuosi	Henkilö	Suomen historia	Maailman historia
1789	Antoine Lavoisier	• 1776 aloitti ensimmäinen varsinainen kansalle tarkoitettu sanomalehti • 1771–1792 hallitsijana Aadolf Fredrikin poika Kustaa III • 1788 Anjalan liitto • Suomeen perustettiin monia uusia masuuneja ja kankirautapajoja • Oulu, Pori, Vaasa ja Kokkola saivat tapulioikeudet 1700-luvun lopussa	• 1775–1783 Yhdysvaltojen vapaussota • 1788–1790 Venäjän sota: Kustaa III hyökkäsi Venäjälle • Ranskan suuri vallankumous 1789 • Brittien ensimmäinen Australian siirtokunta 1788 • Valistuksen aika • Isorokkorokote 1798
1829	Johann Döbereiner	• Empire oli vallitseva tyylisuunta • Turun palo 1827 • Helsingin yliopisto perustetaan 1829 (Turun akatemia siirtyi Helsinkiin ja sai uudeksi nimekseen Keisarillinen Aleksanterin yliopisto) • Koleraepidemia riehuu Helsingissä 1831	• Ludwig van Beethoven kuolee 1827 • Läpinäkyvä teippi keksitään 1829 • 1830 Ompelukoneelle myönnetään patentti Ranskassa ja Englannissa keksitään ruohonleikkuri • 1830 Heinäkuun vallankumous Ranskassa
1864	Lothar Meyer John Newlands	• Suomi saa paperirahan 1860 • Suomen ensimmäinen rautatie avataan 1853 • Puuhiokkeen valmistus aloitetaan 1860-luvulla • Suomen kielestä tuli virallinen virkakieli 1863 • Säännölliset valtiopäivät alkoivat 1863 • Kunnallislait säädettiin 1865 • Kansakouluja alettiin perustaa	• Darwinin Lajien synty julkaistaan 1859 • Maailman ensimmäinen öljynporaus 1859 Pensylvaniassa USA:ssa • Elohopea todetaan myrkylliseksi ja sen käyttö kielletään peilien valmistuksessa 1861 • Maaorjuus loppuu Venäjällä 1861 • Paperiraha otettiin käyttöön USA:ssa 1862 • Yhdysvaltain sisällissota 1861–1865
1869	Dmitri Mendelejev	• Suuret nälkävuodet 1867–68 • Ensimmäinen naisylioppilas: Marie Tschetschulin vuonna 1870 • Teollisuustyöntekijöiden määrä ohitti käsityöläisten määrän 1870-luvulla.	• Rautatieyhteys Atlantilta Tyynelle merelle avataan Amerikassa 1869 • Suezin kanava avataan 1869 • Saksan yhdistyminen ja Venäjän ja Preussin välinen sota 1870
1913	Henry Moseley	• Eletään toista sortokautta • Jääkäriliike syntyy 1914 • Helsingin Sanomat muuttui seitsemänpäiväiseksi 1914 https://www.hs.fi/m/sanomapro/a1305769311418?noredirect=true	• Maailman lämpöennätys: 56,7 °C Death Valleyssa Nevadassa 1913 • Ford Motor Company avaa ensimmäisen autojen sarjatuotantolinjan 1913 • I maailmansota syttyy 1914

? Pohdi

Koska tieteellisten keksintöjen määrä nousi moninkertaiseksi 1800-luvulta alkaen, on tähän aikajanaan sisällytetty vain kemian merkittävimpiä keksintöjä Lavoisierin jälkeen. Tieteen kehityksestä antaa jonkinlaista suuntaa Nobel palkinnot, joista tieteille jaetaan vuosittain kemian, fysiikan, lääketieteen ja fysiologian palkinnot ”keksinnöistä, jotka edellisenä vuonna ovat eniten edesauttaneet ihmiskunnan kehitystä”.

1913
Henry Moseley
- Järjestysluku

1913
Niels Bohr
- Atomimalli

1901
Jacobus Henricus van ´t Hoff
- Fysikaalisen kemian isä, ensimmäisen kemian Nobel palkinnon saaja

1898
Marie Curie
- Löysi radiumin ja poloniumin, jotka olivat ensimmäiset radioaktiiviset alkuaineet, jotka on eristetty ja tunnistettu.

1878
Josiah Willard Gibbs
- Kemiallinen termodynamiikka

1869
Dmitri Mendelejev
Jaksollinen järjestelmä

1828
Friedrich Wöhler
- Urean synteesi, orgaanisen kemian alku.

1827
Amadeo Avogadro
- Avogadron laki (kaasulaki)

1805
John Dalton
- Atomiteoria

1800
Alessandro Volta
- Sähkökemiallinen pelkistyssarja

1778
Antoine Lavoisier (Joseph Priestley ja Carl Wilhem Scheele)
- Hapen löytyminen ja flogiston teorian kumoaminen
- Lavoisier on kvantitatiivisen kemian isä

1687
Sir Isac Newton
- Klassisen mekaniikan perusteet

1675
Anton van Leeuwenhoek
- Mikroskooppi ja mikro-organismit

1665
Robert Hooke
- Solun löytyminen

1662
Robert Boyle
- Esitti, että alkuaineita on enemmän kuin neljä, Boylen lakiEnsimmäinen tiedemies, joka teki kontrolloituja kokeita ja jonka töiden julkaisut sisälsivät yksityiskohtaiset selitykset menetelmistä, käytetyistä laitteistoista ja havainnoista.

n. 1650
Blaise Pascal
- Matematiikan kehitys: todennäköisyyslasku ja integraalilaskenta.
- Paineen ja tyhjiön käsitteet.

1610–1645
Galileo Galilei
- Tieteellisen menetelmän, klassisen fysiikan ja tähtitieteen isä.

1609–1619
Johannes Kepler
- Planeettojen liikkeiden lait

1608
Hans Lipperhey
- Kaukoputki

1600
William Gilbert
- Maan magneettikenttä

1543
Nicolaus Kopernikus
- Esitti, että maapallo kiertää aurinkoa, heliosentrinen maailmankuva.

n. 1500
Paracelsus
- Painotti tutkimuksissa suoraan luonnosta tapahtuvaa ilmiöiden havainnointia ilman harhaanjohtavia klassisia teorioita ja ajatuksia.

n. 1250
Roger Bacon
- Tieteellisen menetelmän puolestapuhuja

984
Ibn Sahl
- Valon taittumisen lainalaisuudet

n. 600–1100
Arabien valtakunta
- Matemaattiset algoritmit, algebra, differentiaalilaskenta, klassisen mekaniikan perusteet

n. 250 eaa.

Arkhimedes

- Matemaattisen fysiikan isä.

n. 300 eaa.–476 Rooman valtakunta

- Insinööritaidot: valtatiet, sillat, vesijohtoverkosto (akveduktit), sementti, taotut naulat ja sotatekniikka

n. 300 eaa.

Euklides

- Geometrian isä

n. 400 eaa.

Hippokrates

- Ensimmäinen, joka selitti sairaudet luonnollisilla syillä eikä jumalten ja henkien aiheuttamina

n. 400 eaa.

Theophrastus

- Kasvitieteen isä

n. 400 eaa.

Demokritos ja Leukippos

- Demokritoksen kerrotaan kehittäneen yhdessä oppi-isänsä Leukippoksen kanssa ajatuksen, jonka mukaan kaikki aine koostuu katoamattomista, jakamattomista ja ikuisesti muuttumattomista hiukkasista, joita Demokritos kutsui nimellä atomos, ”jakamaton”.

? Pohdi

Sveitsiläissyntyinen kemian ja lääketieteen uranuurtaja Paracelsus on todennut 1500-luvun alkupuolella: Was ist das nit gifft ist: alle ding sind gifft und nichts ohn gifft. Allein die dosis macht das ein ding kein gift ist. ”Ei ole myrkytöntä ainetta. Vain annos ratkaisee, että aine ei ole myrkky.”

Myrkky on aine, jolle altistuminen haittaa eliön elintoimintoja tai tappaa eliön. Mikä tahansa aine voi olla myrkky jollekin eläinlajille, mutta vaaraton joillekin toisille eliöille. Toisaalta myrkyllisyys määrittyy annoksen mukaan: pieni annos voi olla vaaraton tai toimia lääkkeenä, mutta suurempi annos on haitallinen tai tappava.

Myrkyille ei ole olemassa yhtenäistä luokittelutapaa. Myrkyt voidaan luokitella joko alkuperänsä mukaan tai vaarallisuuden mukaan. Kemikaalilainsäädäntö antaa perusteet kemikaalien myrkyllisyyden luokitteluun.

Eräs luokitteluperuste on myrkkyjen alkuperän mukaan joko luonnosta peräisin oleviin ja ihmisen synteettisesti valmistamiin aineisiin.

Luonnonmyrkkyjä ovat:

- Eläinperäiset myrkyt (trooppisen kalan bakutoksiini)
- Kasviperäiset myrkyt (kielon konvallatoksiini)
- Sienimyrkyt (korvasienen gyromitriini)
- Mikrobimyrkyt (lievämyrkky saksitoksiini)
- Myrkylliset alkuaineet (elohopea)

HS:n artikkelit

https://www.hs.fi/m/sanomapro/a1305961700507?noredirect=true
https://www.hs.fi/m/sanomapro/a1346639689317?noredirect=true
https://www.hs.fi/m/sanomapro/a1461911995585?noredirect=true

Synteettisiä myrkkyjä ovat esimerkiksi:

- Metanoli
- Dioksiinit kuten Polyklooratut dibentso-p-dioksiinit
- Palamisen ja teollisuussynteesien sivutuote, joka aiheuttaa kehityshäiriöitä ja ovat karsinogeenisiä-
- Parationi, etyyliparationi eli dietyyli-p-nitrofenyylitiofosfaatti.
- Hyönteismyrkky, jolla on myrkkyvaikutuksia myös selkärankaisille
- Sariini eli O-isopropyylimetyylifosfonofluoridaatti.
- Hermokaasuihin kuuluva organofosfaatti.
- Syanidit ovat vetysyanidin (HCN) suoloja, jotka muodostavat hajotessaan myrkyllistä disyanidia (CN2). Huomaa, että orgaanisena substituenttina esiintyvä CN-ryhmä eli nitriili ei ole myrkyllistä.
- Suurin osa lääkemolekyyleistä yliannostuksena

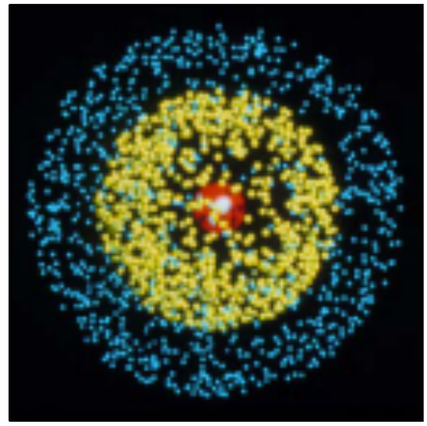
HS:n artikkelit

https://www.hs.fi/m/sanomapro/a1425181810837?noredirect=true
https://www.hs.fi/m/sanomapro/a1358495378319?noredirect=true

Kvanttimekaaninen atomimalli

Bohr esitti mallinsa selittämään vetyatomin spektrin, mutta samalla mallilla ei pystytty tyydyttävästi kuvaamaan minkään muun alkuaineen spektriä. Kvanttimekaniikan kehittyessä nopeasti 1920-luvulla itävaltalainen fyysikko Erwin Schrödinger esitti matemaattiset yhtälöt, joiden avulla voidaan kuvata atomin elektronien ominaisuuksia. Näiden monimutkaisten yhtälöiden ratkaisuilla ilmaistaan elektronin paikka kuvaamalla todennäköisyys, mistä avaruuden tilasta elektroni voidaan löytää. Nämä erimuotoiset tilat, orbitaalit, korvaavat Bohrin mallin elektroniradat.

Elektronin paikkaa kuvataan usein pilvimallilla, jossa elektronin paikka on sumea. Kuva on samankaltainen kuin jos katsot nopeasti pyörivää tuuletinta: näet sumean kuvan, mutta et näe tarkalleen, missä tuulettimen lavat milläkin ajanhetkellä ovat.

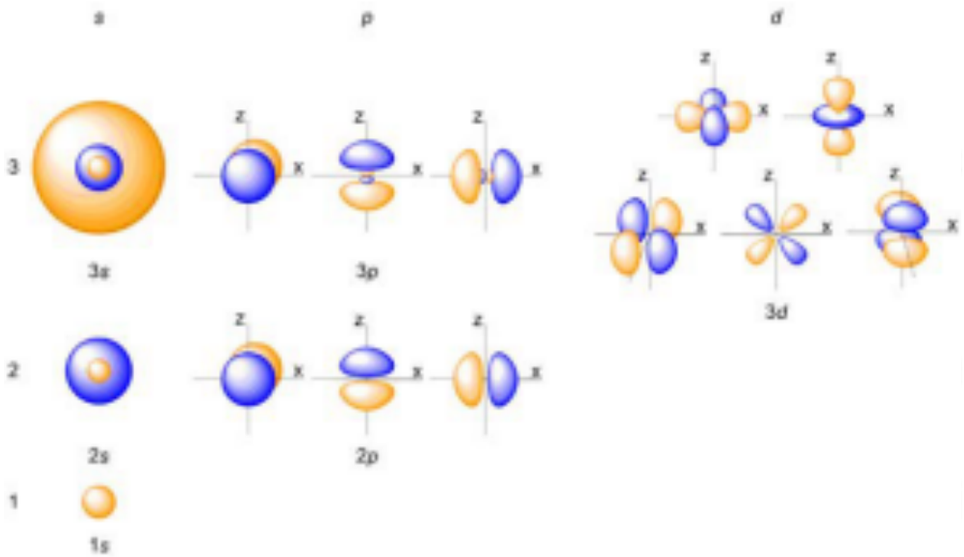


Elektronipilvimalli

Orbitaalit

Pian havaittiin, että kullakin elektronin orbitaalilla voi olla enintään kaksi elektronia ja joillakin kuorilla voi olla useampia orbitaaleja. Tämän selityksenä on **Paulin kieltosääntö**, jonka mukaan kahdella elektronilla ei voi olla kaikki samat neljä kvanttilukua. Koska samalla orbitaalilla olevilla elektroneilla on samat pää- sivu- ja magneettiset kvanttiluvut (n, l, ml), niillä on oltava eri spinkvanttiluvut m_s. Paulin kieltosäännön mukaan samalla orbitaalilla olevilla elektroneilla on siis oltava vastakkaiset spinit.

Ensimmäisellä kuorella on yksi pallosymmetrinen orbitaali 1*s*. Toisella kuorella on neljä orbitaalia: pallosymmetrinen 2*s*, ja kolme muuta orbitaalia 2*p*, jotka ovat käsipainon muotoisia. Saman kuoren orbitaalit, joilla on sama kirjaintunnus, muodostavat alikuoren. Toisella kuorella on siis kaksi alikuorta: 2*s*, jolla on vain yksi orbitaali, ja 2*p*, jolla on kolme orbitaalia. Kolmannella kuorella on yhteensä yhdeksän orbitaalia kolmella alikuorella: yksi pallosymmetrinen 3*s*, kolme käsipainon muotoista 3*p*, ja viisi monimutkaisempaa 3*d*-orbitaalia.

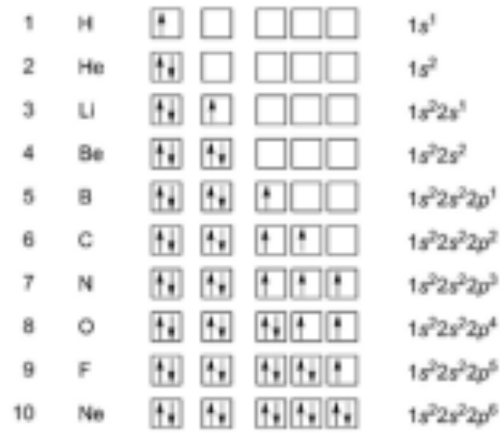


Orbitaalien muotoja

Orbitaalien täyttyminen

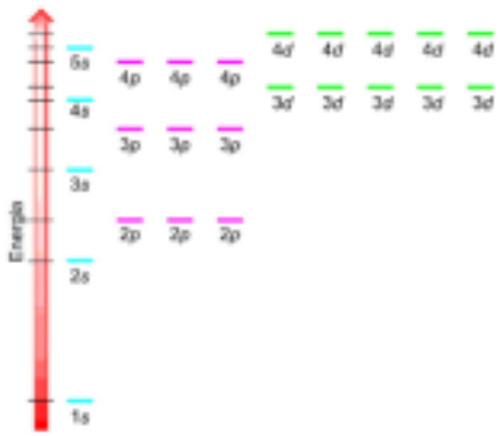
Alikuoret ovat **degeneroituneet**, eli kunkin kuoren samojen alikuorten energiat ovat keskenään samat. Kuorten ja alikuorten ja siten myös niillä sijaitsevien elektronien energia kasvaa siirryttäessä kauemmas atomiytimestä. Elektronit asettuvat orbitaaleille sijoittuen aina alhaisimman energian omaavalle vapaalle orbitaalille. Vedyllä H ($Z = 1$) on vain yksi elektroni, joten sen elektronikonfiguraatio on $1s^1$. Heliumilla He ($Z = 2$) on ensimmäinen kuori täynnä, sen elektronikonfiguraatio on $1s^2$. Litiumilla Li ($Z = 3$) on kolme elektronia: $1s^2 2s^1$. Neonin Ne ($Z = 10$) elektronikonfiguraatio on $1s2^2s2^2p^6$, eli sen toisella kuorella on oktetti ja sanomme että sen toinen kuori on täynnä.

Laatikkomalli



Elektronien täyttymistä voidaan kuvata esimerkiksi seuraavassa kuvassa olevan laatikkomallin avulla. Huomaa, että sijoittuessaan *p*-orbitaaleille elektronit menevät ensin kukin omalle orbitaalilleen. Tämä on seurausta siitä, että sijoittuessaan kahdelle samaenergiselle eri orbitaalille elektronien välinen hylkimisvoima on pienempi kuin jos ne ovat samalla orbitaalilla, koska elektronit voivat nyt sijaita laajemmalla avaruuden alueella. Tätä periaatetta kutsutaan **Hundin säännöksi**: *täyttäessään samaenergisiä orbitaaleja elektronit asettuvat ensin yksittäin samansuuntaisin spinein*.

Minimienergiaperiaate



Kolmannessa jaksossa elektronit asettuvat vastaavasti orbitaaleille: kun pääsemme argoniin asti ($Z = 18$), kolmannella kuorella on kahdeksan elektronia ($1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6$). Korkein miehitetty alikuori, 3*p*, on täynnä. Seuraavan alkuaineen, kaliumin K, ei enää sijoitu tälle kuorelle, koska 3*d*-orbitaalin energia on korkeampi kuin 4*s*-alikuoren. Tästä johtuen tämä elektroni sijoittuu 4*s*-orbitaalille. Kun 4*s*-alikuori on täynnä, skandiumin Sc seuraava elektroni sijoittuu 3*d*-orbitaalille. Olemme saaneet ensimmäisen siirtymäalkuaineen.

Elektronien **täyttymisjärjestys** orbitaaleille voidaan kuvata viereisellä kaaviolla.

Huomaa, että seuraavan kuoren s-orbitaali alkaa täyttyä aina, kun edellisen kuoren *s*- ja *p*-orbitaalit ovat täynnä, riippumatta siitä, onko tällä kuorella vielä muita täyttymättömiä orbitaaleja.

Valenssielektronit

Pääryhmien alkuaineilla uloimman kuoren elektronit ovat valenssielektroneja. Tästä syystä puhumme usein oktettisäännöstä: alkuaineet pyrkivät ionisoituessaan saavuttamaan elektronikonfiguraation, jossa uloimmalla kuorella on kahdeksan elektronia. Esimerkiksi natrium Na ionisoituu luovuttamalla yhden elektronin, jolloin Na^+:n elektronikonfiguraatio on $1s2^2s2^2p^6$, joka on sama kuin sitä edeltävän jalokaasun neon Ne elektronikonfiguraatio. Vastaavasti kloori Cl ionisoituu helposti ottamalla vastaan yhden elektronin, jolloin Cl^-:n elektronikonfiguraatio on sama kuin argonin, $1s^22s^22p^63s^23p^6$. Seuraavassakin jaksossa bromi Br ionisoituu ottamalla vastaan yhden elektroni, ja syntyvän Br^-:n elektronikonfiguraatio on $1s^22s^22p^63s^23p^64s^23d^64p^6$. Tässäkin tapauksessa uloimmalla neljännellä kuorella on kahdeksan elektronia.

Siirtymäalkuaineilla myös uloimmat *d*-elektronit osallistuvat sidosten muodostukseen ja kuuluvat siksi valenssielektroneihin. Raudan (Z = 26) elektronikonfiguraatio on $1s^22s^22p^63s^23p^64s^23d^6$. 3*d*-elektronien energia on korkeampi kuin edellisen täyden kuoren energia, ja siksi raudan valenssielektronien määrä on 8.

Valenssielektronit ovat kauimpana atomiytimestä, jolloin ne ovat heikoimmin atomiytimen vaikutuspiirissä. Ne ovat helpoimmat menettää (ionisoitua) tai jakaa sidoksen muodostuksessa. Alkuaineen kemialliset ominaisuudet määräytyvätkin valenssielektronien lukumäärän mukaan. Näemme nyt, miksi saman ryhmänalkuaineet muodostavat kemiallisilta ominaisuuksiltaan samankaltaisen *ryhmän*: *niillä on yhtä monta valenssielektronia*.

Yhteenveto

Alkuaineen elektronirakenteen saat, kun

1. sijoitat elektronit orbitaaleille **minimienergiaperiaatteen** mukaisesti. Tämä täyttymisjärjestys saadaan edellisen sivun kuvan mukaisesti.
2. **Hundin säännön** mukaan kullekin orbitaalille sijoitetaan aina ensin yksi elektroni.
3. **Paulin kieltosäännön** mukaan samalla orbitaalilla voi olla enintään kaksi elektronia, joilla on vastakkaiset spinit.

MUISTATKO?

M Ennakkotesti peruskoulun oppimäärästä

1. Saat opettajaltasi tutkimusongelman. Ota selvää, mitä tarkoitetaan tieteellisellä menetelmällä. Suunnittele, miten ratkaiset saamasi ongelman tieteellisen menetelmän keinoin

2. Miten selvität koeputken tilavuuden? Tee suunnitelma ja toteuta se.

3. Selvitä, mistä löydät kemikaalien käyttöturvallisuustiedotteet. Tutustu yhden aineen tiedotteeseen: miten aine tulee varastoida, mitä varoitusmerkkejä tiedote sisältää, miten aine tulee hävittää, ja mikä on ensiapu vahinkotilanteessa.

4. Edessäsi on joukko välineitä. Mitkä niistä tunnistat kemian laboratoriovälineiksi? Kuinka monen välineen oikean nimen muistat?

5. Mitä yhteistä on kemialla, fysiikalla ja biologialla? Mikä on niiden suurin ero?

6. Mitä tarkoitetaan kemiallisella reaktiolla ja reaktioyhtälöllä?

7. Mitkä ovat atomin osat?

8. Mikä ero on alkuaineella ja kemiallisella yhdisteellä?

9. Luettele viisi alkuainetta, jotka ovat metalleja ja viisi alkuainetta, jotka ovat epämetalleja

10. Selitä seuraavat käsitteet
    - **a.** olomuoto
    - **b.** hapan liuos
    - **c.** palaminen
    - **d.** haihdutus
    - **e.** suola
    - **f.** kemiallinen merkki

MUISTATKO?

M Jaksollinen järjestelmä

Valitse oikea vaihtoehto täydentämään lause

1. Eri alkuaineilla on keskenään _____ atomit.
a. samanlaiset **b.** erilaiset **c.** yhtenevät

2. Kahdella eri alkuaineella voi olla sama määrä _____.
a. protoneja **b.** energiatasoja **c.** elektroneja

3. Kahden eri atomin uloimmalla energiatasolla voi olla sama määrä _____.
a. elektroneja **b.** protoneja **c.** neutroneja

4. Samassa _____ olevilla alkuaineilla on samankaltaisia ominaisuuksia.
a. jaksossa **b.** ryhmässä **c.** jonossa

5. Hapella on 6 ulkoelektronia eli se kuuluu ryhmään _____.
a. 6 **b.** 16 **c.** 8

6. Atomin uloimmalle kuorelle voi mahtua enintään _____ elektronia.
a. 2 **b.** 18 **c.** 8

7. Ryhmän 18 alkuaineet eli jalokaasut eivät reagoi helposti, koska niillä_____
a. ei ole riittävästi energiaa
b. on liian vähän energiatasoja
c. on valenssikuori täynnä.

8. _____ on koottu jaksolliseen järjestelmään
a. Kaikki tunnetut alkuaineet
b. Vain luonnossa esiintyvät alkuaineet
c. Vain puhtaina esiintyvät alkuaineet

9. Pääryhmät eli pystyrivit kuvaavat _____
a. elektronikuorten lukumäärää
b. ulkoelektronien lukumäärää
c. energiatasojen määrää

10. Jaksot eli vaakarivit kuvaavat _____
a. energiatasojen lukumäärää
b. ulkoelektronien lukumäärää
c. elektronien kokonaismäärää

VASTAUKSET: 1. b 2. b 3. a 4. b 5. b 6. c 7. c 8. a 9. b 10. a

MUISTATKO?

M Kemiallinen sidos

Valitse oikea vaihtoehto täydentämään lause

1. Metalliatomit muodostavat _____ ioneja.
a. positiivisia **b.** negatiivisia **c.** neutraaleja

2. Epämetallien ionit voivat olla _____.
a. positiivisia
b. negatiivisia
c. sekä positiivisia että negatiivisia

3. _____ on suolan kemiallinen nimi.
a. ioniyhdiste **b.** anioni **c.** kationi

4. Bariumsulfaatissa BaSO4 _____ on kationi.
a. Ba **b.** Ba^{2+} **c.** SO_4^{2-}

5. Metallisidoksessa _____ pitää kiinni negatiivisten elektronien pilvi.
a. positiivisia ytimiä **b.** neutraalia atomia **c.** neutroneja

6. _____ on hyvin säännönmukainen.
a. Metallihila
b. Amorfinen rikki
c. Mineraalien rakenne

7. Kemiallisen sidoksen muodostavat _____
a. parilliset valenssielektronit
b. parittomat valenssielektronit
c. vapaat elektroniparit.

8. _____ ilmaisee yhdisteen atomit ja niiden lukumäärät
a. Rakennekaava **b.** Viivakaava **c.** Molekyylikaava

9. Poolisessa sidoksessa _____ elektronegatiivisuusero on suuri
a. elektronien **b.** atomien **c.** molekyylien

10. Alkuainemolekyylit ovat _____
a. poolittomia **b.** poolisia **c.** ionisia

VASTAUKSET: 1. a 2. c 3. a 4. b 5. a 6. a 7. b 8. c 9. b 10. a